

er

LKAN











Der Mont Pelé auf Martinique, vom Meere gesehen, am 16. Dezember 1902.

8 Uhr 24 Minuten vormittags, einige Augenblicke vor dem Beginn eines Ausbruchs. Man erblickt die aus dem Krater hervorragende Felsnadel. (Nach Lacroix.)

Der Vulkan

Die Natur und das Wesen der Feuerberge im Lichte der neueren Anschauungen

für die Gebildeten aller Stände in gemeinfasslicher Weise dargestellt

von

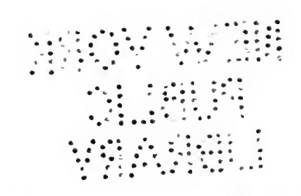
Dr. phil. Hippolyt Haas
Professor an der Hochschule zu Kiel

Mit 63 Abbildungen auf 32 Tafeln

„Denn unser Wissen ist Stückwerk."
(I. Kor. 13, 9.)



Berlin
Verlagsbuchhandlung Alfred Schall
Königl. Preuss. und Herzogl. Bayer. Hofbuchhandlung
Verein der Bücherfreunde



Maschinensatz von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Vorwort.

Die ersten Grundlagen zu dem vorliegenden Buche haben Vorträge „Über den Vulkanismus im Lichte neuerer Anschauungen“ gebildet, welche ich zu Anfang des laufenden Jahres in den Volkshochschulkursen in Kiel gehalten habe. In wissenschaftlicherer Form habe ich dieselben dann als Vorlesung für Studierende aller Fakultäten im Sommersemester 1903 an der Universität Kiel wiederholt. Dem mir von verschiedenen Seiten geäußerten Wunsche, meine Vorträge im Druck herauszugeben, bin ich hiermit nachgekommen, und habe mein Buch dank der Opferwilligkeit der Verlagsbuchhandlung auch mit einer Anzahl guter Abbildungen schmücken können.

Unsere Anschauungen über den Vulkanismus befinden sich zurzeit in einer Art Gärung. Die Schillerworte:

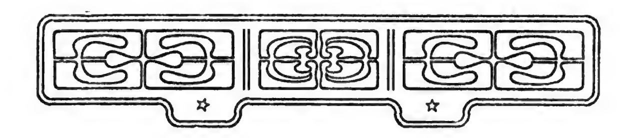
> Das Alte stürzt, es ändert sich die Zeit,
> Und neues Leben blüht aus den Ruinen —

mögen zum Teil auch auf den Zustand passen, in welchem diese Lehren sich gegenwärtig befinden. Ich habe mich in diesen Tagen der Umwertung der meisten bisherigen vulkanischen Werte bemüht, die größtmöglichste Objektivität in meinem Buche zu bewahren. Als der Druck schon abgeschlossen war, erhielt ich Kenntnis von zwei erst kürzlich erschienenen Abhandlungen Brancos und einer solchen von Bücking, die ich leider nicht mehr benützen konnte. Dieselben würden sonst nicht ohne Einfluß auf den Schlußabschnitt des zweiten Kapitels geblieben sein.

Kiel, am 12. November 1903.

Hippolyt Haas.

Inhaltsverzeichnis.



Erster Abschnitt.

Einleitendes. Neuere Ansichten über den Aggregatzustand im Erdinneren.

Einleitendes. Was ist Vulkanismus? Was ist über die Tiefen der Erde bekannt? Die Dichtigkeit des Erdkörpers. Der eiserne Erdkern. Ältere Ansichten über den Aggregatzustand der Materie im Erdinnern. Die Nebularhypothese und die Konglomerattheorie. Beide sind Rastvorstellungen. Die invariable Fläche. Wärmezunahme im Erdinnern. Geothermische Tiefenstufen. Fernere Beweise für eine Wärmequelle im Innern des Planeten. Isogeothermen. Toulas Meinung vom Zustand des Erdinnern. Kontinuitätshypothese Günthers. Anschauungen Pencks. Stübels Lehre von der Panzerdecke. Lord Kelvin und F. Ratzel. Hopkins Forderung eines starren Erdkörpers. Reyer. Svante Arrhenius.

Nur sehr wenige Naturerscheinungen auf Erden gibt es, die geeignet sind, den menschlichen Geist in intensiverer Weise zu fesseln, sein Denken und Forschen in höherem Maße anzuregen, als die Tätigkeit der Vulkane und als die Frage nach ihrer Entstehung. Vollends in Tagen, wie die Gegenwart sie gebracht hat, in Zeiten, da die geheimnisvollen Kräfte der Unter-

welt wieder einmal, wie schon so oft, plötzlich und unerwartet blühende Städte vernichtet, reich gesegnete fruchtbare Landstriche versengt haben, und ganze Inseln dem Untergang und der Vernichtung durch die brennenden Gewalten des Erdinnern geweiht scheinen! In solchen Perioden drängt sich die Frage nach dem Warum und Wie dieser Dinge besonders gern in den Vordergrund, und der Fachmann, der Geolog, soll dann Aufklärung geben über die Ursachen, welche diese grauenerregenden Phänomene heraufbeschworen haben.

An und für sich ist der Ausbruch eines Vulkans gerade kein weltbewegendes Ereignis, zumal die Feuerberge nicht eben in sparsamer Weise über das Erdenrund verteilt sind. Hat doch schon Alexander von Humboldt deren über 220 gezählt, und das zu einer Zeit, als die Erdoberfläche im Verhältnis zu unserer jetzigen Kenntnis von derselben nur recht mangelhaft bekannt gewesen ist! Kaum eine Woche, ja kaum ein Tag vergeht, an dem nicht da oder dort auf dem Geoid ein vulkanischer Ausbruch stattfände, und es müssen schon ganz besondere Verhältnisse und Umstände vorwalten, um eine derartige Begebenheit zu einem die allgemeinere Aufmerksamkeit der Menschheit in Anspruch nehmenden Ereignisse zu stempeln. Die erste historische Eruption des Vesuv im Jahre 79 nach Christus, unter des Titus Regierung, und des Kataklysmus am

Krakatau im Mai 1883 sind beispielsweise solche Marksteine gewesen.

Derartige innerhalb der Grenzen der civilisierten Welt sich abspielende Katastrophen prägen sich dem Gedächtnis unseres Geschlechts naturgemäß dauernd ein, während andere, vielleicht nicht minder großartige und gewaltige wohl des öfteren ziemlich unbeachtet vorübergehen werden, weil die fernabgelegenen Gegenden, in denen sie sich vollzogen haben, sich nicht so sehr im Mittelpunkt des allgemeinen Interesses befinden, wie etwa die Martinique, und weil wegen der mangelhaften oder ganz fehlenden Verbindung des Ortes ihres Auftretens mit der übrigen Erde die Kunde davon sehr schwer, manchmal auch gar nicht bis in das Herz der Kulturstaaten hineinzudringen vermag.

Das, was man wissenschaftlich unter der Bezeichnung Vulkanismus versteht, beschränkt sich nicht allein nur auf das Wesen der Feuerberge selbst; es wird vielmehr unter diesem Begriff die Gesamtheit aller derjenigen Erscheinungen zusammengefaßt, die nach unseren Ansichten oder gemäß unseren Erfahrungen mit dem Vorhandensein glutflüssiger Materie unterhalb, vielleicht auch innerhalb der festen Gesteinshülle des Planeten in einem Zusammenhange stehen. Dahin gehören also auch diejenigen Vorgänge auf dem Geoid, die man Erdbeben nennt, die gebirgsbildenden Kräfte

und die heißen Quellen. Darum kann man auch unterscheiden zwischen einem Vulkanismus im engeren Sinne, der lediglich nur die Vulkane selbst, ihr Werden und Vergehen in das Bereich seiner Betrachtung zieht, und einem solchen im weiteren Sinne, in dessen Rahmen auch die soeben erwähnten anderen Naturerscheinungen gehören, und die Erörterung der gemeinschaftlichen Ursachen dieser Dinge.

Das Wesen des Vulkanismus beruht auf dem Hervortreten und in den Äußerungen von Kräften, die in der Natur und Beschaffenheit des Planeten selbst begründet sind, — die interne Geodynamik. Im Gegensatz dazu stehen diejenigen Vorgänge auf der Erdoberfläche, die durch äußere, in ihrer Tätigkeit durch die Sonnenenergie und die Schwerkraft bedingte Agentien hervorgebracht werden, wie beispielsweise die geologische Arbeit des Wassers und der Atmosphäre, die also durch Umstände erzeugt sind, deren Entstehungsursachen außerhalb des Planeten, und zwar in dessen Beziehungen zu anderen Himmelskörpern wurzeln, — die externe Geodynamik.

Innere und äußere Geodynamik liegen miteinander in fortwährendem Kampfe. Das, was die aristokratischen Gewalten der Tiefe an der Erdoberfläche auftürmen, fällt den Angriffen der hier wirkenden Kräfte zum Opfer, die, demokratisch gesinnt, einen

großen Nivellierungsprozeß, einen allgemeinen Gleichgewichtszustand herzustellen stetig bestrebt sind.

Unsere weiter oben gegebene Definition des Vulkanismus setzt das Vorhandensein glutflüssiger Materie im Erdinnern voraus. Treten wir der Frage näher, was uns zu dieser Voraussetzung berechtigt.

In runden Zahlen ausgedrückt, beträgt der Erdhalbmesser 6377 km am Äquator und 6356 km an den Polen. Das tiefste bis jetzt in die Erde hineingetriebene Bohrloch, dasjenige von Paruschowitz in Oberschlesien, hat 2003 m erreicht. Das ist gleich $^1/_{3183}$ des äquatorialen und $^1/_{3173}$ des polaren Erdradius. Mit anderen Worten: wir kennen vom Erdinnern jetzt etwa $^1/_{3175}$ des Erdhalbmessers, von den übrigen $^{3174}/_{3175}$ wissen wir bestimmtes nicht! Für unsere Kenntnis dieser sind wir lediglich nur auf Vermutungen und Hypothesen angewiesen, auf Ansichten, die allerdings nicht nur aus der Luft gegriffen wurden, sondern auf Erfahrungen beruhen, die wir den chemischen und physikalischen Vorgängen auf der Erdoberfläche und den Errungenschaften der Astronomie verdanken. Immerhin sind es nur Vermutungen und Hypothesen und keine feststehenden Sätze, wie diejenigen es sind, mit denen wir arbeiten können, wenn es sich darum handelt, die zur externen Geodynamik gehörigen Dinge zu ergründen.

Vor bald 50 Jahren hatte Karl Friedrich Naumann, einer der Erzväter der Geologie und weiland Professor dieser Wissenschaft an der Leipziger Hochschule, die Worte geschrieben: „Das Innere unseres Planeten ist für unsere unmittelbaren Wahrnehmungen so unerreichbar, daß man es auf den ersten Blick für ein verwegenes und fruchtloses Beginnen halten möchte, irgend etwas Bestimmtes über seine Beschaffenheit ausmitteln zu wollen. Indessen sind die uns ewig verschlossenen Abgründe der Tiefe gewissermaßen denen uns gleichfalls unerreichbaren Fernen des Himmelsraumes zu vergleichen, und wie wir über diese letzteren wesentlich durch das Licht belehrt werden, so gewinnen wir über das Erdinnere den wichtigsten Aufschluß durch die Wärme. Der Astronom befragt den aus unendlicher Ferne kommenden Lichtstrahl, der Geolog den, wie der Bergmann sagt, aus ewiger Teufe hervorbrechenden Wärmestrahl."

Eng verbunden mit der Frage vom Zustand des Erdinnern, über die uns der aus der ewigen Teufe hervorbrechende Wärmestrahl Auskunft geben soll, ist die andere nach dem spezifischen Gewicht, nach der Dichtigkeit des Erdkörpers, die wir zuerst kurz erörtern wollen. Die Gesetze der Schwerkraft sind es, die uns eine Vorstellung davon gestatten. Bereits vor 127 Jahren sind die ersten diesbezüglichen Ermittlungen

gemacht worden, und zwar von Hutton und Maskelyne am Berge Shehallien in Schottland, vermittelst der Methode der Lotablenkung. Diese Untersuchungen ergaben den Wert 4.71 für die mittlere Dichtigkeit der Erde. Viel Zeit und noch viel mehr Scharfsinn wurden seither aufgewendet, um noch genauere Resultate zu bekommen, die älteren Beobachtungsmethoden wurden verbessert und verfeinert, neue kamen hinzu. Airy benützte die Methode der Pendelschwingungen in einem tiefen Schacht, Carlini die gleichen auf einem hohen Berg, dem Mont Cenis, ebenso Mendenhall auf dem Fuschi-Yama in Japan. Lord Cavendish und andere Forscher wendeten die von Mitchell erfundene Drehwage an, und so ist das fortgegangen bis in die gegenwärtigen Zeiten. So verschiedenartig wie die einzelnen Untersuchungsmethoden sind auch die Resultate gewesen, die sie gezeitigt haben. Berget erhielt beispielsweise den Wert 5.41 für das spezifische Gewicht der Erde, Mendenhall 5.77, Lord Cavendish 5.48, Jolly 5.692. Der letztgenannte ist der größte bisher gewonnene, wenn man die ganz zuverlässigen Beobachtungen in Betracht zieht, und als aus diesen genommenen Mittelwert für die Dichte der Erde wird man am besten 5.57 setzen.

Nun beträgt die mittlere Dichtigkeit der die Gesteinshülle, die Lithosphäre unseres Planeten bilden-

den Felsarten, soweit dieselben uns bekannt und unseren Untersuchungen zugänglich sind, etwa 2.6—2.7. Und wenn wir die vom Ozean bedeckten Areale mit in Rechnung ziehen, so sinkt der Wert für die mittlere Dichte der ganzen Erdoberfläche gar auf 1.6 herab. Daraus ist zu folgern, daß das spezifische Gewicht der inneren Regionen unseres Planeten noch viel höher sein muß, als 5.57. Laplace hat die Dichte des Erdkerns einmal zu bestimmen versucht, indem er seinen Arbeiten eine Dichtigkeitszunahme in arithmetischer Progression zu Grunde legte, und bekam als Resultat die Zahl 10.047, während Plana bei Annahme eines spezifischen Gewichtes der Erdoberfläche von 1.877 sogar den Wert 16.73 für die Kerndichte herausrechnete.

Der aus allen diesen Ergebnissen gezogene Schluß, im Erdinnern seien sehr schwere Stoffe gelagert, lag nahe, und so war denn schon vor längerer Zeit der Gedanke aufgetaucht, diese Massen müßten aus Eisen bestehen. Das spezifische Gewicht dieses nächst dem Aluminium die größte Verbreitung in den uns bekannten Zonen der Erdrinde besitzenden Metalls ist = 7.844 in reinem Zustand. Ein amerikanischer Gelehrter, J. D. Dana, konnte den Nachweis dahin erbringen, daß sich die Behauptung vom eisernen Erdkern sehr gut mit der ermittelten Dichtigkeit des Planeten vereinigen lasse. Etwa zwei Drittel der Erdmasse

Figur 1.

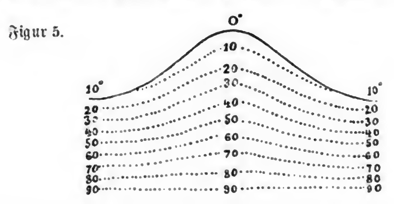
Figur 2.

Figur 3.

Figur 4.

Figur 1—4. Der Erdkörper in vier verschiedenen Stadien seiner Erstarrung gedacht. Figur 1. Dicke der Erstarrungskruste = 100 Kilometer. Figur 2 = 1000 Kilometer. Figur 3 = 2000 Kilometer. Figur 4 = 4000 Kilometer. (Nach A. Stübel.) (Zu Seite 35.)

Figur 5.



Figur 5. Verlauf der Isogeothermen von der Erdoberfläche nach der Tiefe zu. (Nach Supan.) (Zu S. 26.)

würden aus Eisen bestehen, und es müßte der eiserne Kern ungefähr bei 800 km Tiefe beginnen. In der großen Verbreitung, welche das genannte Element auch in kosmischer Hinsicht besitzt, erhält diese Ansicht eine wesentliche Stütze. Wir erinnern nur an die zahlreichen, aus gediegenem Eisen bestehenden meteoritischen Massen, die auf die Erde niederfallen und doch nur die Bruchstücke anderer, in stofflicher Beziehung unserem Planeten analog gebauter Gestirne sind. Übrigens sind ja die weiteren an der Zusammensetzung der Meteoriten teilhabenden Massen ebenfalls als Konstituenten der Erdrinde bekannt.

Auch in der Gegenwart ist der präsumierte eiserne Erdkern wiederum der Gegenstand geistvoller Untersuchungen gewesen. Ausgehend von einer mittleren Dichte der Erde = 5.55, von einer solchen des Gesteinsmantels = 3.2, von einer polaren Abplattung des Planeten im Betrag von $^1/_{296}$ bis $^1/_{297}$, und einer Dichte des zusammengepreßten Eisens von 7.8 gelangte E. Wiechert zu dem Ergebnis, daß die Erde einen Eisenkern von 10000 km Durchmesser in sich berge, der von einem Gesteinsmantel von 1500 km Durchmesser umhüllt werde. Letzterer würde also den vierten Teil des Erdhalbmessers an Ausdehnung nach der Tiefe zu übersteigen und dem Volumen nach etwa die Hälfte des Gesamtvolumens, der Masse nach $^3/_{10}$ der Gesamtmasse

betragen. Eine scharfe Grenze zwischen Mantel und Kern dürfe kaum anzunehmen sein, sondern es müßte der erstere gegen den letzteren zu immer eisenreicher werden.

Schon früher ist dem Gedanken Ausdruck verliehen worden, daß die Annahme eines aus Stoffen von sehr hohem spezifischen Gewicht bestehenden Erdinnern eigentlich gar nicht notwendig sei, um die festgestellte mittlere Dichtigkeit des Geoids zu erklären. Die Dichte der atmosphärischen Luft zum Beispiel — dies wurde zur Stütze dieser Behauptung vorgebracht —, müsse wegen des nach dem Erdinnern zu immer größer werdenden Druckes schon in 7.6 Meilen Tiefe derjenigen des Wassers gleichkommen, in einer solchen von 11 Meilen das spezifische Gewicht des Platins erreichen; in 20 Meilen Tiefe würde das Wasser seine Dichtigkeit verdoppeln, und in 80 Meilen Tiefe eine solche des Quecksilbers besitzen. Und zöge man den nach Herschels Berechnungen im Erdmittelpunkt wirkenden Druck in Betracht, das sind 300000 Atmosphären oder 309900 kg auf den Quadratzentimeter, so müßte Stahl auf den vierten Teil seines Volumens zusammengedrückt werden können. Dieser Einwurf jedoch darf keinen Anspruch auf Stichhaltigkeit machen, weil die Zusammendrückbarkeit, die Kompressabilität der Körper ihre Grenzen hat, und auch aus dem weiteren Grunde,

daß die größere Temperatur der Tiefe der zusammendrückenden Kraft entgegenarbeiten müßte.

Zu ähnlichen Betrachtungen ist neuerdings ein deutscher Vulkanologe, Dr. Alphons Stübel in Dresden, durch die mehrfach gemachten Beobachtungen geführt worden, daß Schollen festgewordener Lava auf flüssiger Lava zu schwimmen vermögen, wie etwa Eis dies auf dem Wasser tut, woraus geschlossen wird, daß die feste Lava ein geringeres spezifisches Gewicht aufweist, als die flüssige, also bei ihrem Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand ein größeres Volumen angenommen hat. „Wenn aber," so sagt der Genannte, „die Materie in flüssigem Zustand schwerer ist, als ihr Erstarrungsprodukt, so kann es uns auch nicht befremden, daß die mittlere Dichtigkeit des Erdkörpers, dessen Inneres diese Materie zu bergen scheint, die Dichte jener, an der Erdoberfläche uns zugänglichen, unzweifelhaft eruptiven Gesteine übersteigt. Befremdend würde es nur sein, wenn man gezwungen wäre, gerade das umgekehrte Verhältnis vorauszusetzen und die flüssige Materie als leichter, die erstarrte als schwerer anzunehmen. Das spezifische Gewicht mancher Basalte beträgt bis zu 3.3. Eine andere Frage ist dagegen die, ob der verbleibende Dichtigkeitsunterschied von etwa 2.2 bis 3 — abgesehen von den spezifisch leichteren Gesteinsarten anderer Entstehung, die an

der Zusammensetzung der Erdoberfläche einen unbestimmbaren Anteil haben — lediglich auf Rechnung der mit dem Druck progressiv nach der Tiefe zunehmenden Dichte der glutflüssigen Materie gesetzt werden dürfte, oder, vielleicht mit größerer Berechtigung, in dem Vorwalten schwererer Bestandteile in der Mischung der Materie nach der Tiefe zu suchen wäre. Um dies zu entscheiden, fehlt es bis jetzt an jedem greifbaren Anhalt, selbst dafür, ob das Innere der Erde unter den gegebenen Verhältnissen als flüssig oder fest anzunehmen ist."

Stübels Schlußworte führen uns zu den Dingen zurück, über die uns der aus der ewigen Teufe heraufdringende Wärmestrahl aufklären soll, zu der Frage nach dem Aggregatzustande der Materie im Erdinnern. Mit der Behauptung, daß diese letztere den menschlichen Geist wohl von dem Zeitpunkte an beschäftigt haben muß, an dem er denken gelernt hat, wird man kaum zu weit gehen, wenn uns auch die direkten Beweise für diese Meinung naturgemäß fehlen. Jedenfalls aber hat die Beschaffenheit des Erdinnern schon zu denjenigen Problemen gehört, mit denen sich nicht eben die geringste Zahl der Denker unter den Kulturvölkern des Altertums befaßte. Der größte und der klarste Geist der alten Welt, Aristoteles von Stagira, befindet sich darunter, und des Platons Lehre vom Zentralfeuer in

der Erdtiefe, vom Periphlegeton, ist von den Gelehrten bis in das Mittelalter hinein nachgebetet worden. Von Wissensdurst getrieben hat sich, so will es die Überlieferung, Empedokles der Agrigentiner in den Krater des Ätna gestürzt, nachdem er zuvor am Berge selbst lange Beobachtungen angestellt hatte, um das Wesen des unterirdischen Feuers zu erforschen. In die Abgründe des Planeten hat später die Kirche die Hölle verlegt, deren schreckenerfüllte und grauenhafte Räume den Sänger der Divina Comedia in seinen unsterblichen Versen geschildert hat. Aus den mit dem höllischen Brand in Verbindung stehenden Vulkanschlünden ertönte das fürchterliche Geschrei der im Fegefeuer gepeinigten armen Seelen. „Auch in der Gegenwart," so spricht der bekannte Münchener Geograph Sigmund Günther, „gibt es noch Leute, welche in Vulkanausbrüchen und Erderschütterungen infernale Winke erblicken zu sollen glauben."

Was hat man in vergangenen Jahrhunderten nicht alles zusammengeschrieben über den Zustand des Erdinnern! Wie viele geistreiche, aber auch wie viele phantastische und ungeheuerliche Gedanken haben da nicht im menschlichen Gehirn gespukt. So hat ein origineller Kopf und ein von seinen Zeitgenossen hochgeschätzter Arzt, Johann Baptist Helmont in Brüssel (1577 bis 1644) den kühnen Satz aufgestellt, das Innere unseres

Planeten sei erfüllt von einem feinen, von einer unerschöpflichen Wassermenge ganz und gar durchdrungenen Sande. Noch andere haben das Erdinnere für einen Hohlraum gehalten, in dem sogar Tiere und Pflanzen lebten, und zwei kleine Planeten, Pluto und Proserpina, kreisten. Athanasius Kircher, der gelehrte Jesuitenpater aus der Zeit des dreißigjährigen Krieges und der Begründer des Museo Kircheriano in Rom, stellte sich ein im Erdmittelpunkte brennendes gewaltiges Feuer vor, einen mächtigen Behälter glutflüssigen Materials, ein großes Pyrophylacium, das durch Kanäle mit anderen, kleineren und da und dort im Erdinnern verteilten Pyrophylacien in Verbindung stünde, und diese wiederum mit den einzelnen Vulkanschloten. Eine ähnliche Lehre ist auch in den allerjüngsten Tagen wieder hervorgetreten, wenn auch auf ganz anderen wissenschaftlichen Begründungen beruhend, als Kircher sie zu geben vermocht hat. Wir werden uns noch in eingehender Weise damit zu beschäftigen haben.

Gestützt auf die Kant-Laplacesche Theorie vom Ursprung unseres Sonnensystems, auf die Nebularhypothese, nehmen wir an, unsere Erde sei einmal ein glühender Gasball gewesen, der sich im Verlaufe der Zeiten allmählich verdichtet habe und in einer fortschreitenden Abkühlung von außen nach innen begriffen sei. Wenn wir uns also auf den Boden dieser Lehre

stellen, so sind die aus ewiger Teufe hervordringenden Wärmestrahlen die Reste der ursprünglichen Ballungswärme unseres Planeten. Und diese Ansicht, man darf das mit Recht sagen, ist wohl die am allgemeinsten verbreitete, wenn auch nicht die einzige Vorstellung von der Entstehungsweise der Erde, die von der Wissenschaft gezeitigt wurde. Noch andere Lehren sind vorhanden, von denen nur eine hier näher erwähnt werden soll, die vom bayrischen Physiker und Astronomen Gruithuisen aufgestellte, in neuerer Zeit vom Engländer Lockyer wieder aufgenommene Konglomerattheorie. Darnach haben konzentrierte Meteoritenschwärme den Planeten gebildet, eine Möglichkeit, die auch von Nordenskjöld in Betracht gezogen worden ist. Meteoritische Massen hätten sich um einen Kern herum angehäuft und allmählich zu unserer Erde geformt. Dies ist nicht so ungeheuerlich als es klingt. Die Annahme, daß die glorienscheinartige Umrandung des Sonnenkörpers im Momente der Totalität, die sogenannte Corona, aus Meteoritenhaufen bestehen dürfte, hat einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich. Das Hineinfallen gewaltiger Meteormassen in den damals noch in einem plastischen Zustand befindlichen Mondkörper ist auch einmal herangezogen worden, um die Entstehung der kraterförmigen Ringgebirge auf unserem Satelliten zu erklären. Und nicht nur das

ist — beiläufig sei's bemerkt — behauptet worden! Man hat die Bildung der Mondkrater sogar auf die Einwirkung irdischer Vulkane zurückführen wollen und nichts mehr und nichts weniger gesagt, als daß diese letzteren mächtige Auswurfsmassen bis auf den Mond geschleudert und ein regelrechtes Bombardement gegen dieses Gestirn eröffnet hätten! Selbst die großartige Phantasie eines Jules Verne reicht nicht an das hinan, was exzentrische Vertreter der Wissenschaft bisweilen ausgesprochen und zu beweisen versucht haben! Und wenn die Berufenen sich zu derartigen kühnen Ideen versteigen konnten, wer wollte es da den Unberufenen verargen, wenn sie noch viel Ungeheuerlicheres drucken ließen! „Denn so man das tut am grünen Holz, was will am dürren werden?" steht Lukas 23, 31 geschrieben.

Den absoluten Beweis für die Richtigkeit der Nebularhypothese zu erbringen, so wie die phänomenologischen Wissenschaften diejenigen der Erscheinung, wie Wundt die Physik, die Chemie und die Physiologie genannt hat, dies für ihre Lehrsätze zu tun vermögen, das kann die Kosmologie nicht. Denn die ersteren arbeiten mit dem und durch das Experiment — man bezeichnet sie darum auch als Experimentalwissenschaften —, und dieses ist eine Frage der Zeit, weil es nur auf Erscheinungen anwendbar ist, die aus einem

Entwickelungszusammenhange vollständig losgelöst werden können. Langzeitige Erscheinungen, und zu diesen gehört in höchstem Maße die Entstehung unseres Sonnensystems, entziehen sich daher der experimentellen Behandlung. Und auch dann, wenn man versucht hat, große Naturerscheinungen im kleinen Raume zu unserer unmittelbaren Beobachtung durch Experimente nachzubilden, wie beispielsweise Plateau dies mit der rotierenden Ölkugel getan hat, um die Grundgedanken der Kant-Laplaceschen Lehre dadurch zu illustrieren, kann es sich nur um indirekte Experimente im Sinne Wundts handeln. „Wer nicht," sagt Ratzel, dem wir diese Betrachtungen entnommen haben, „an die Abplattung der Erde durch Rotation glaubt, wird durch den Plateauschen Versuch nicht überzeugt werden. Der Wert dieser Experimente hängt also nicht von ihnen selbst, sondern von dem Werte der Voraussetzung ab, die durch sie bewiesen werden soll."

Die Kant-Laplacesche Theorie ist eine Rastvorstellung, wie Ratzel solche Hypothesen bezeichnet hat, „ein Werkzeug beim Wahrheitsuchen, aber nicht die Wahrheit selbst". Lassen wir den Leipziger Gelehrten diesen Begriff mit seinen eigensten Worten definieren. „Mit derselben Notwendigkeit," so äußert er sich, „mit der der müde Wanderer einen Platz sucht, wo er sich zur Ruhe niederläßt, auch auf die Gefahr hin, vom Froste

getötet zu werden, strebt der Geist, der erdgeschichtliche Weiten überflogen hat, einem Abschluß zu. Er will nicht immer in eine Ferne blicken, wo kein Ende und kein Anfang ist. Man muß von einer gewissen Stelle ausgehen können und an einer anderen Halt machen müssen." Und diesem Wunsch, diesem Bedürfnis des forschenden Geistes entspringen die Rastvorstellungen. Die große Mehrzahl der Erkenntnisse, welche die Wissenschaft verkündet, ist nur vorläufig, ist nicht objektive Wahrheit, sondern ein Werkzeug nur beim Suchen nach der Wahrheit!

Ebensowenig aber läßt sich die Konglomerattheorie strikte beweisen. Auch sie ist eine Rastvorstellung! Beide, sie und die Nebularhypothese, haben ein Für und ein Wider, man kann die eine annehmen und die andere verwerfen, ohne daß es je gelänge, gegnerische Anschauungen völlig zurückzuweisen, oder aber die Widersacher durch schlagende Argumente zu überzeugen. Ohne Rastvorstellungen geht es eben in einem solchen Falle nicht, und, wenn man zwischen mehreren davon die Auswahl treffen soll, wird sich's nur darum handeln können, diejenige auszusuchen, die das größte Maß von Wahrscheinlichkeit in sich birgt, eine solche, die dem Beschauer einen Ruhepunkt gewährt, von dem aus er innerhalb des abgeschlossenen Horizontes die möglichst weiteste Fernsicht genießt.

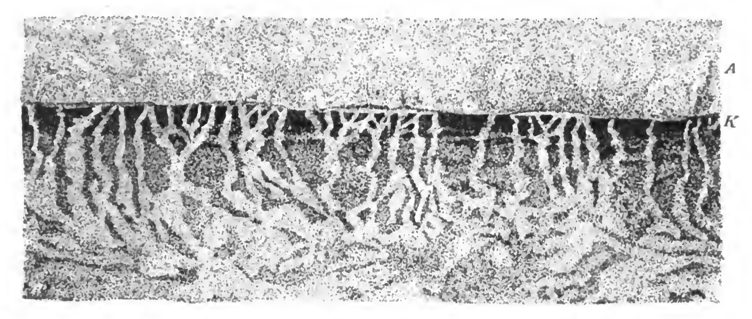
Diesen Anforderungen aber entspricht keine der vorhandenen Theorieen über die Entstehung der Erde so gut, wie die Nebularhypothese. Sie ist diejenige, welche die Beziehungen unseres Planeten zu den übrigen Gestirnen unseres Sonnensystems einerseits und andererseits die vulkanischen Erscheinungen auf der Erde selbst in ihrer Gesamtheit am besten und am vollkommensten erklärt. „Der Grundgedanke," so hat's S. Günther ausgesprochen, „von welchem Kant und Laplace sich bei ihrer Aufstellung leiten ließen, ist nahezu durchaus als ein gesunder anerkannt worden und wird dies auch noch jetzt. Zu dieser Überzeugung müssen wir kommen, wenn wir unsere Erfahrungen darüber, wie sich die Lehre von der Weltentstehung seit anderthalb Jahrhunderten, unter den eifrigen Bemühungen hervorragender Forscher gestaltet hat, zusammenfassen."

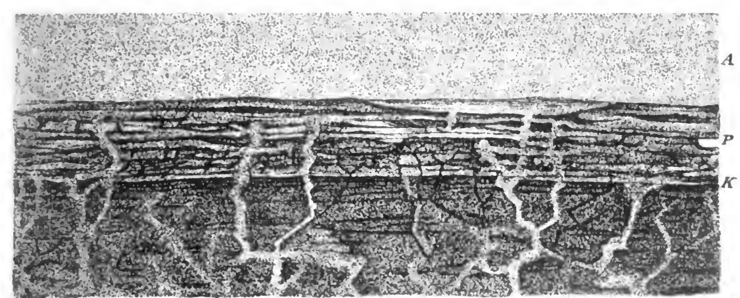
Woran vermögen wir nun die Äußerungen der in den Tiefen der Erde ruhenden Wärme, die ihre Strahlen an die Erdoberfläche sendet, zu erkennen?

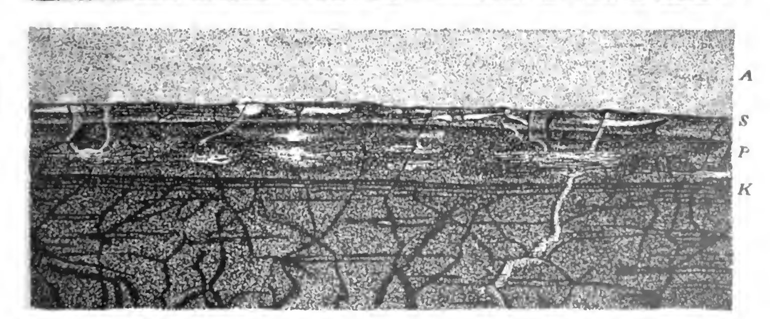
Die von der Allmutter Sonne ausgestrahlte Wärme dringt nur in eine sehr dünne Schicht der Erdrinde ein. Wie die Erfahrung uns gelehrt hat, treffen wir, wenn wir in die Tiefe steigen, schon sehr bald eine Zone, oder besser gesagt, eine Fläche, auf welcher sich die jahreszeitlichen Unterschiede nicht mehr

bemerkbar machen, und wo immerfort eine gleichmäßige Temperatur vorherrscht. Es ist dies die neutrale oder invariable Fläche. Je größer an der betreffenden Örtlichkeit unserer Untersuchungen die jahreszeitlichen Gegensätze sich äußern, um so näher dem Erdmittelpunkt zu wird daselbst auch die neutrale Fläche liegen müssen. Diesem letzteren am nächsten wird sie an den Polen kommen, am Äquator hingegen nähert sie sich am meisten der Erdoberfläche. In unseren Breiten finden wir sie in mehr als 20 Meter Tiefe. Im 28 Meter tiefen Keller der Pariser Sternwarte ausgeführte Beobachtungen, die man seit länger als einem Jahrhundert dort angestellt hat — Cassini und Legentil haben dieselben anno 1783 begonnen — zeigen, daß dort eine andauernde Temperatur von 11.82° C. vorhanden ist, die im Verlaufe des soeben erwähnten Zeitabschnitts keine größeren Schwankungen als nur ± 0.02° C. aufweisen konnte.

Sobald wir von der neutralen Fläche aus tiefer in das Erdinnere eindringen, nehmen wir eine Temperaturzunahme wahr. Auf die Ausstrahlung der Sonne kann dieselbe nicht mehr zurückgeführt werden, sondern sie muß vielmehr aus der Tiefe heraufkommen, ein Erzeugnis sein der daselbst wirkenden Eigenwärme des Planeten. Diese Tatsache ist nicht neu. Athanasius Kircher, der weiter oben genannte Priester der Gesell-







Die Erstarrungskruste der Erde in verschiedenen Phasen, nach A. Stübel (und E. Weinschenk). Oben: Die Panzerdecke im Anfang ihrer Entwicklung. In der Mitte: Die Panzerdecke 40—50 Kilometer dick, Stadium der Katastrophe. Unten: Gegenwärtiger Zustand der Panzerdecke. *A.*- Dunsthülle. *K.*- Erste Erstarrungskruste. *P.*- Panzerdecke. *S.*- Vulkankegel von in der Panzerdecke befindlichen peripherischen Herden gespeist. (Zu Seite 32.)

135.5, 82.7 Meter. Ein daraus berechneter Mittelwert ergibt 65 Meter. Dagegen betrugen die Mittelwerte der geothermischen Tiefenstufen in einigen deutschen Bohrlöchern der Gegenwart wie folgt: Sperenberg bei Berlin 33.7 Meter, Schladebach bei Halle 35.7 Meter, Paruschowitz bei Rybnik in Oberschlesien, das schon erwähnte tiefste Bohrloch der Erde, etwa 34 Meter. Einige Daten über die Größe der geothermischen Tiefenstufen in älteren Bohrlöchern (resp. bei älteren Tiefbohrungen auf artesisches Wasser) mögen hier noch angeführt werden. Bohrloch von Grenelle-Paris (artesischer Brunnen) 31.38 Meter, Rüdersdorf bei Berlin 30 Meter, Monsdorff im Luxemburgischen 31.04, und Lieth bei Elmshorn, das einige Zeit hindurch die Ehre, das tiefste der Erde zu sein, ebenfalls genoß, 35.7 Meter. Größere Anomalien hat die geothermische Tiefenstufe im vorhin genannten Schacht von Pzibram mit 65 Meter gezeigt, ein Beispiel für einen abnorm hohen Wert, während sehr viel geringere Werte ermittelt wurden im Bohrloch von Neuffen in Württemberg, das von 1832 bis 1839 eingetrieben wurde, und zwar hier 9.9 Meter nach den gleichzeitigen Beobachtungen des Grafen Mandelsloh, und 10.46 Meter nach den Neuberechnungen Brancos vor 8 Jahren, dann im Bohrloch von Sulz am Neckar (1888—1890), 24.08 Meter, in demjenigen von Monte Massi bei Grosseto in

der Toskana, 13 Meter, in der Bohrung von Macholles bei Riom in der Limagne (französisches Zentralplateau), in der Nachbarschaft heißer Quellen ausgeführt und 1160 Meter tief, 14.16 Meter, und in derjenigen von South Balgray bei Glasgow, 22.49 Meter.

Für die sehr hohe geothermische Tiefenstufe in Pzibram hat man eine genügende Erklärung zur Zeit noch nicht, wenn auch mehrfach festgestellt werden konnte, daß diese Werte in Bergwerksschächten meist sehr große sind. Die auffallend geringen Zahlen im Bohrloch von Neuffen finden nach Branco eine sehr plausible Erklärung im Umstande, daß hier in der Tiefe ein großer, mindestens 20 Quadratmeilen umfassender vulkanischer Herd ruht, dessen Glutmassen in jungtertiärer Zeit bis nahe an die Erdoberfläche gerückt und noch nicht völlig erkaltet sind. Wir werden auf diese Verhältnisse später noch eingehender zurückkommen müssen. Die kleine geothermische Tiefenstufe im Bohrloch von Macholles wird durch die in der Nähe befindlichen heißen Quellen leicht verständlich.

Einen verhältnismäßig großen Einfluß auf die Zunahme der Temperatur im Erdinnern hat die Beschaffenheit der Gesteine im Bohrloch. Die Temperatur wächst beispielsweise rascher in Schiefern als im Granit. Geringer dagegen wird dieselbe in einem Steinsalzlager

sein, weil dieses Mineral ein sehr hohes Wärmeleitungsvermögen besitzt, äußerst diatherman ist, höher in Steinkohlenschichten. In diesen kann noch ein weiterer, die Temperatur erhöhender Umstand hinzutreten, nämlich infolge der großen Zersetzbarkeit der Eisenkiese, wobei Wärme entwickelt wird. Auch in den vom Bohrloch von Neuffen durchfahrenen Schichten, in denen ein größerer Reichtum von Eisenkiesen vorhanden ist, dürfte nach den klaren Ausführungen Brancos eine Steigerung der Temperatur stattgefunden haben.

Will man aus allen bisher gemachten einigermaßen zuverlässigen Erfahrungen über die geothermischen Tiefenstufen einen Mittelwert berechnen, so würde dieser etwa 31 bis 35 Meter betragen. Aber nach Branco ist der Satz: Die Wärmezunahme hat im Mittel auf Erden den und den Betrag, ganz unzulässig. Denn nur dann, wenn die Erdrinde überall die gleiche Dicke hätte, mit anderen Worten, wenn der Herd der Schmelzmassen überall gleich weit von der Erdoberfläche entfernt läge, würde die Wärmezunahme nach der Tiefe hin überall eine bestimmte, eine gleiche sein können, abgesehen von den Unterschieden, die durch den Einfluß chemischer Prozesse, des Wassers u. s. f. hervorgerufen werden können. Ob der Wert der geothermischen Tiefenstufe nach dem Erdmittelpunkte hin etwas zunimmt, wie Arago das aus den Ergebnissen der

Bohrung von Grenelle schließen zu dürfen geglaubt hat, das muß vorderhand auch noch dahingestellt bleiben.

Neben diesen untrüglichen Zeugnissen für eine nach der Tiefe zu steigende Wärme, wie sie bis zu 2000 Meter dargetan ist, gibt es aber noch andere Beweise, aus denen man folgern darf, daß die Temperatur in den dem Erdmittelpunkt noch näher gelegenen Regionen eine noch höhere sein muß. Das sind die glutflüssigen Massen, welche sich auf den Feuerschlünden der Vulkane über die Erdoberfläche ergießen, die Laven, die mit einer Hitze von 1000° C. und mehr heraufdringen, das sind auch die allenthalben auf dem Geoid entspringenden heißen Quellen, die Thermen im engeren Sinne. Das Wasser des großen Geysirs auf Island weist vor einem Ausbruch 127° C., nachher 122° C. auf, die Thermen von Chichi-Mequilla in Mexiko zeigen 96.4° C., diejenigen von Abano in den Enganäen 84.5° C., und die Schwertbadquelle von Burtscheid-Aachen, eine der heißesten Deutschlands, besitzt eine Temperatur von 76° C., 73.8° C. der berühmte Karlsbader Sprudel. Dabei ist es noch nicht einmal gewiß, daß die Wärme der Thermen an ihrem Quellorte auch wirklich der ursprünglichen Temperatur ihrer Wässer in den Tiefen der Erde entspricht. Durch chemische Vorgänge aller Art und auch durch das Ein-

dringen von kälteren Wassermengen in die natürliche, dem Aufsteigen des Thermalwassers dienende Gesteinskluft, in die Thermalspalte, kann diese Temperatur schon um ein bedeutendes herabgemindert worden sein.

Wie dem auch sei, die allgemeine Verbreitung der Vulkane auf der Erde, und ferner das an so vielen Stellen, im Norden, Süden, Osten und Westen des Planeten aus seinem Innern hervorströmende heiße Wasser geben uns einen deutlichen Fingerzeig dafür, daß wohl allenthalben in der Erdtiefe ein bedeutender Wärmeschatz aufgespeichert sein muß. Ob derselbe aber in den Eingeweiden der Erde gleichmäßig verteilt ist, ob er an einigen Stellen nicht größere Intensität zeigt, als an anderen, oder anders ausgedrückt, ob die Isogeothermen, die Flächen gleicher Temperatur im Erdinnern, regelmäßig angeordnet sind und einander etwa parallel verlaufen, das ist eine andere, vorhin schon kurz von uns berührte Frage. Es ist schon die Vermutung ausgesprochen worden, bereits in 1500 bis 2000 Metern sei dies der Fall, auch müsse der gegenseitige Abstand der Isogeothermen durch das Maß der Wärmeleitungsfähigkeit der in der betreffenden Tiefe vorhandenen Gesteine bedingt werden. In der Nähe der Erdoberfläche erleiden die Isogeothermen verschiedene Abweichungen, bedingt durch die Beschaffenheit des Bodenreliefs, dem sie im allgemeinen

folgen, und durch noch weitere Umstände. Die Entfernung gleichwertiger Isogeothermen vom Erdmittelpunkte wird in den Bergmassen hoher Gebirgszüge eine größere sein, als unter den ozeanischen Depressionen.

Versuchen wir nun, unter der Zugrundlegung der soeben geschilderten Verhältnisse der Frage näher zu treten, in welcher Tiefe der Erde etwa geschmolzene Materie vorhanden sein und welcher Zustand wohl in den Abgründen des Planeten herrschen müßte.

Toula meint, daß erst in 100 oder 200 km Tiefe oder auch mehr, überall im Erdinnern geschmolzene Massen anzutreffen sein dürften. Die Temperatur der Laven in den Tiefen der Ausbruchsschlote nimmt der Genannte zu etwa 2000° C. an, mit der Bemerkung, daß diese Zahl möglicherweise noch etwas zu gering gegriffen sein dürfte, zumal der vermehrte Druck den Schmelzpunkt wohl wesentlich erhöhen müßte. Eine in arithmetischer Progression fortschreitende gleichmäßige Wärmezunahme nach dem Erdmittelpunkt hin ist in großen Tiefen vielleicht doch nicht mehr anzunehmen, und die geothermischen Tiefenstufen werden wohl allmählich größer werden, je weiter wir von einer gewissen Tiefe aus im Geiste in das Erdinnere eindringen. Von der Tiefe von 100—200 km an greift eine noch allmählichere Temperaturzunahme wahr-

scheinlich Platz. Auf diese Weise würde auch die Annahme von so gewaltigen Hitzegraden von 200000 bis 250000° C. wie dies früher geschehen, nicht mehr notwendig sein. Hat doch schon, worauf Toula hinweist, Naumann gesagt, daß, wenn das Erdinnere wirklich flüssig ist, die Temperatur jenseits der Grenze des flüssigen Kerns auch nicht viel höher zu steigen braucht, während sie innerhalb derselben ziemlich konstant sein kann, weil dort notwendig Strömungen stattfinden müssen, durch welche sich die etwaigen Differenzen mehr und mehr ausgleichen.

Sigmund Günther ist bei seinen Betrachtungen über den möglichen Zustand des Erdinnern zu Anschauungen gekommen, welche er die Kontinuitätshypothese genannt hat. „Im Innern des Erdballs," so sagt er, „sind alle überhaupt denkbaren Aggregatzustände zwischen nahezu totaler Starrheit und absoluter Dissoziation vorhanden, und zwar gibt es keine wie immer beschaffene Trennungsflächen, sondern der Übergang ist ein absolut lückenloser, so daß zwei zunächst benachbarte, unendlich dünne Kugelschalen auch hinsichtlich ihrer Molekularbeschaffenheit einen wenn auch noch so geringen Unterschied aufweisen müßten." Wir hätten dann 7 verschiedene Raumzonen im Erdball, die aber, um das nochmals besonders zu betonen, nicht scharf oder besser gesagt gar nicht gegeneinander

abgegrenzt sind, sondern vielmehr alle allmählich ineinander übergehen. Von außen nach innen zu fortschreitend treffen wir zuerst die von Gesteinen und Mineralien gebildete feste Erdkruste, als fast völlig starr anzusehen, dennoch aber, gegenüber äußeren Einwirkungen, wenn auch nur in sehr beschränkter Weise plastisch reagierend. In größerer Tiefe zeigt sich immer mehr eine gewisse Verschiebbarkeit der Teilchen, die hinüberführt in die Zone der latenten Plastizität. Hier ist das Gesteinsmaterial dem Anscheine nach fest, aber bereits mit einem mehr und mehr gleichmäßig verteilten Vermögen der Druckfortpflanzung ausgestattet, wird aber bei vermindertem Drucke ganz fest. Hierauf gelangen wir in die Zone der Zähflüssigkeit, des Silikatbreies von zähflüssiger Beschaffenheit, und von da durch das Überhandnehmen von Schichten leichtflüssiger Massen, deren Beweglichkeitsgrad nach der Tiefe hin zunimmt und sich immer mehr demjenigen der elastischen Flüssigkeiten nähert, in diejenige der gewöhnlichen Flüssigkeit. Die Zone der gewöhnlichen Gase löst nun die soeben erwähnte ab, und die verschiedensten Körper finden sich hier in gasförmigem Zustande, da die Temperaturerhöhung die Druckerhöhung im Verhältnis überwiegt. Bei zunehmendem Druck würde eine Rückbildung in den tropfbar-flüssigen Zu-

stand möglich sein, was aber in der sechsten Zone, in derjenigen der überkritischen Gase nicht mehr der Fall sein könnte. Da die kritischen Temperaturen der einzelnen Substanzen überaus verschieden sind, so dürfte in dieser Zone manches Gas längst überkritisch geworden sein, während ein anderes bei gleicher Entfernung vom Erdmittelpunkte diesen Zustand noch nicht erreichen konnte. Jedes Gas besitzt daher immer noch sein Sonderdasein, seine Individualität. So ist in dem Gasgemenge Sauerstoff ebenso wie Stickstoff als solcher vorhanden. Setzt sich aber die radiale Wärmezunahme noch weiter fort, so wird auch diese Selbständigkeit der Gase unmöglich, denn eine Hitze, wie sie in den zentralen Teilen des Planeten obwaltet, muß den Zerfall der Molekel zur notwendigen Folge haben. „Es besteht daher," sagt Günther, „wenn unsere Hypothese das Richtige trifft, das Erdinnere im engeren Sinne aus einem einatomigen Gase." Das ist die letzte und innerste Zone.

Nach Penks Vorstellung ist der Erdball eine Gaskugel, die zunächst von einer flüssigen Magmaschicht und dann von einer festen Kruste umgeben ist; beide Hüllen setzen sich aber weder scharf voneinander, noch vom Kerne ab. So ruht nach dem Genannten die starre Erdkruste gleichsam auf einem weichen Polster

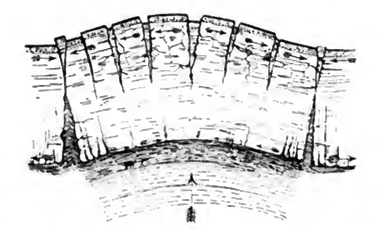
latent-plastischen und darunter flüssigen Materials auf und befindet sich in Ruhezustand in einer Art hydrostatischen Gleichgewichts; die hohen kontinentalen Teile sind die leichteren, die ozeanischen die schwereren, wie es auch den tatsächlichen Verhältnissen entspricht. Man muß sich die Erdkruste nämlich nicht als ein zusammenhängendes und ununterbrochenes Ganzes denken, denn abgesehen davon, daß sie nicht aus einem einheitlichen Stoffe besteht, sondern von den verschiedenartigsten zusammengesetzt wird, ist dieselbe in viele, größere und kleinere Schollen zerborsten, die gegeneinander in Bewegung waren oder noch sind und dabei gebogen oder sogar zusammengeschoben wurden. Diese Verhältnisse, auf die wir später noch in eingehender Weise zurückzukommen haben werden, beruhen auf der Tendenz der Erdkruste, sich im Verlaufe der fortschreitenden Erstarrung des Planeten dem unter ihr befindlichen infolge der zunehmenden Erkaltung stets mehr und mehr schwindenden Glutkern anzuschmiegen und anzupassen.

In dem von dem Ozean eingenommenen Teil der Erdoberfläche muß das Wasser abkühlend auf seine Unterlage wirken wie das Wasser eines Kühlapparates, und das hat zur Folge, daß der Wärmeverlust des Erdinnern unter den Meeresdepressionen ein größerer sein wird, als unter den Festländern. Mit anderen Worten:

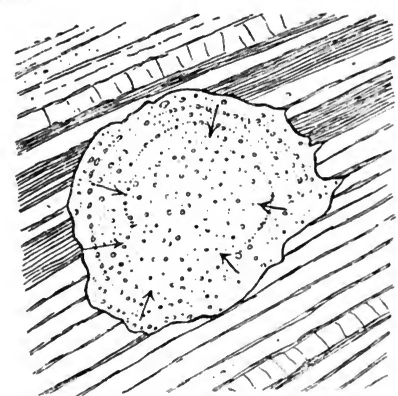
die Kernhülle ist unter den Ozeanen durchschnittlich stärker abgekühlt und kontrahiert anzunehmen, als wie unter der Landoberfläche. Daraus resultiert nun wieder, was wir schon weiter oben betonten, die größere Dichte der unter den Ozeanen belegenen Teile der Erdkruste gegenüber der geringeren bei den von den Kontinenten bedeckten. „Diese Unterschiede müssen bei anhaltender Abkühlung sich und jene Unebenheiten, welche vorhanden waren, als sich die Wasser auf der Erdoberfläche zu sammeln begannen, im Laufe der Zeiten nicht bloß erhalten, sondern auch steigern. Die Permanenz der großen ozeanischen und kontinentalen Räume erscheint sohin als Folge der ungleichen Abkühlung des Erdballs." Diese sind die stabilen Gebiete der Erdkruste, im Gegensatz zu denjenigen, welche durch Zusammenstauen der festen Erdhülle, durch Faltung und Überschiebung der Schichten, durch die vulkanische Tätigkeit im weiteren und im engeren Sinne gegeneinander beweglich sind, den labilen Gebieten.

Nach Alphons Stübel hat sich um den glutflüssigen Erdball im Verlaufe der Äonen ein System von Gesteinsbänken gebildet, welches den Planeten rings umschalt, und zu jenen Zeiten, wo die planetare Erstarrungskruste noch eine geringe Dicke besaß, zu deren Festigung wesentlich beigetragen haben muß, die Panzerdecke. Ihre Bildung denkt sich der genannte

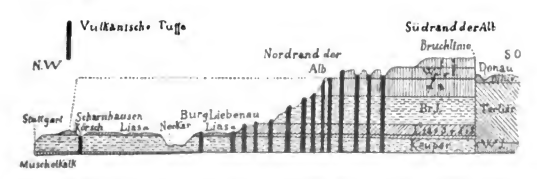
Figur 1. Tafel 3.



Figur 2.



Figur 3.



Figur 1. Aufwölbung der Erdrinde bei der Bildung der Vulkane, nach der Ansicht von Poulett-Scrope. (Zu Seite 51.)
Figur 2. Grundriß eines Neck aus Ost-Fife. (Nach Geikie.) (Zu Seite 62.)
Figur 3. Schematischer Durchschnitt von Norden nach Süden, von Stuttgart bis nach Oberschwaben, um die Lage der ausgeblasenen Vulkane zu erläutern. (Nach Branco.) (Zu Seite 69.)

Forscher folgendermaßen: Als die Entstehung der planetaren Erstarrungskruste noch in ihren ersten Anfängen begriffen war, wurde ihre dünne Rinde an unzähligen Stellen von den Magmamassen durchbrochen, deren Abführung infolge einer Volumenzunahme notwendig ist. Denn mit dem Übergang der Materie aus dem glutflüssigen in den festen Zustand wird zwar eine Volumenverminderung hervorgerufen, aber es darf auch mit größter Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß im Verlaufe des Erkaltungsprozesses glutflüssigen Magmas auch eine Phase der molekularen Volumenvergrößerung eintritt. Damit kann eine ungeheuere, sich stetig steigernde Kraftäußerung verbunden sein, und das ist gerade die Phase, durch welche das zeitweise Hervorbrechen glutflüssiger Materie bewirkt wird. Die solcherweise ausgestoßenen Magmamassen überlagern die Erstarrungskruste, und die Bildung der Panzerdecke beginnt.

Inzwischen nimmt die von außen nach innen vor sich gehende Erstarrung des Erdkörpers immer mehr zu, der glutflüssige Herd ist infolgedessen in größere Tiefen hinabgedrückt und der Widerstand, welchen das hervorbrechende Magma überwinden muß, ist gewachsen, und um so größer dieser letztere wird, um so geringer wird auch die Zahl der Ausbruchstellen.

In einem weiteren, noch mehr fortgeschrittenen

Erstarrungsstadium halten sich die eruptive Kraft des Magmas und der Widerstand etwa das Gleichgewicht, und in dieser Periode des Erkaltungsprozesses müssen notwendig die gewaltigsten und ihrer Masse nach größten Ergüsse glutflüssigen Magmas eintreten. Dies ist das Stadium der Katastrophe, und die Bildung der Panzerdecke findet damit ihren Abschluß.

Bei noch zunehmender Erstarrung endlich wird der Rest des glutflüssigen Erdinnern in so große Tiefen gebannt, daß Ausstoßungen glutflüssiger Massen bis zur Erdoberfläche nicht mehr eintreten können, doch ist die Möglichkeit, daß im Innern des Erdkörpers noch sehr gewaltige Reaktionen vor sich gehen, nicht ausgeschlossen.

Die aus der geringsten Tiefe des Erdinnerns hervorgequollenen Ergußmassen bilden demnach gegenwärtig in der Panzerdecke die zu unterst derselben abgelagerten Gesteinsbänke, und diejenigen, welche die obersten Schichten aufbauen, haben ihren Ursprung in der größten Tiefe des Erdinnern genommen, bis zu welcher der Erstärrungsprozeß vorgeschritten war, als sie abgelagert wurden.

„Die dicke Panzerdecke," sagt Stübel weiter, „läßt sich nur relativ abschätzen, nicht in Zahlen ausdrücken; sie steht in einem bestimmten Verhältnis zu der Tiefe, bis zu welcher die Erstarrung des Erdkörpers als vor-

geschritten gedacht wird, und zu der Größe der Ausdehnungsfähigkeit, die wir dem Magma beimessen.

Für die richtige Beurteilung der Tiefe, bis zu welcher die Erstarrung des Erdkörpers vorgeschritten sein kann, ist an erster Stelle das Intensitätsverhältnis zwischen den Äußerungen der vulkanischen Kräfte der ältesten Vergangenheit und denen der Gegenwart maßgebend. Dieses Verhältnis festzustellen ist mehr die Aufgabe des Geologen, als die des Physikers und Astronomen, wenn dabei auch die Ansichten der letzteren nicht ungehört bleiben dürfen."

Der Erdkörper ist seinem Volumen nach bereits zum größeren Teil der Erstarrung anheimgefallen, das ist eine Annahme, zu welcher der Geologe auf Grund seiner geogenetischen Erwägungen kommen muß, denn die vulkanischen Erscheinungen der Gegenwart sind nur noch schwache Nachklänge derjenigen, die sich in den vergangenen Epochen der Erdgeschichte auf unserem Planeten abgespielt haben.

Nun besitzen wir noch ein weiteres Mittel, um die Tiefe abzuschätzen, bis zu welcher die Erstarrung der Erde wohl vorgedrungen ist. Das sind die metamorphischen und die sedimentären Gesteinsschichten, die nur aus dem Material zusammengesetzt sein können, das den Erstarrungsprodukten der Erdoberfläche, also der Panzerdecke entstammt. „Würden wir aber die

Mächtigkeit dieser jüngeren Ablagerungen, zu denen höchst wahrscheinlich manche Gesteinsarten zählen, die bis jetzt noch vielfach als Eruptivgesteine betrachtet werden, ohne es zu sein, auch nur auf 15 bis 20 km veranschlagen, so stellt dieses Schichtensystem in seiner ganzen vertikalen Ausdehnung doch nur erst einen Bruchteil von der von uns vorausgesetzten Mächtigkeit der Panzerdecke dar. Wenn aber ein Schichtensystem von 15 bis 20 km Mächtigkeit gewissermaßen nur die Rolle einer Verwitterungsrinde des eruptiven Untergrundes spielt, so können wir uns leicht vergegenwärtigen, welche unermeßlichen Zeiträume vergangen sein müssen, um die lange Reihe der mechanischen und chemischen Aufbereitungsprozesse ablaufen zu lassen, deren vielleicht ein jeder einzelne die Dauer von Jahrmillionen für sich in Anspruch nahm, und durch welche Prozesse das vulkanische Material erst bis in das der Sedimentformationen übergeführt wurde; welche Zeiträume müssen aber bereits verstrichen gewesen sein, bevor überhaupt äußere Einflüsse diese Umwandlungsvorgänge einleiten konnten!

Aus diesen Zeiträumen läßt sich also wiederum mit großer Sicherheit auf die ungeheuere Tiefe schließen, bis zu welcher die Erstarrung des Erdkörpers notwendig vorgeschritten sein muß. Nur eine Unterschätzung dieser Zeitwerte, die dieser Maß-

stab dem rechnenden Geologen an die Hand gibt, in Verbindung mit einer gleichzeitigen Überschätzung der vulkanischen Erscheinungen der Gegenwart in ihrer Bedeutung zur ursprünglichen Feuerflüssigkeit des Erdkörpers vermag zu der gewiß nicht stichhaltigen Annahme zu verleiten, daß die Dicke der Erstarrungskruste der Erde eine relativ kleine Zahl von Kilometern, deren 100 oder gar nur 50 betragen könne, welche Ansicht befremdlicherweise selbst von einigen Geologen vertreten worden ist.

Die Dauer der Zeiträume für die petrographische Entwickelung und morphologische Ausgestaltung der Erdoberfläche zu hoch zu veranschlagen, kommt der menschliche Geist nicht leicht in Gefahr, nur in die, sie zu kurz zu bemessen. Dem größten Irrtum aber würden wir uns hingeben, wenn wir annehmen wollten, daß die Gesteinsbänke der archäischen Sedimentformationen der ursprünglichen Erstarrungskruste unmittelbar aufgelagert worden seien. Zwischen beide Zeiträume schaltet sich unzweifelhaft eine Epoche ein, deren Dauer aller Wahrscheinlichkeit nach so groß gewesen ist, daß im Vergleich mit ihr der Zeitraum, der mit dem ersten Erscheinen des organischen Lebens auf der Erde bis zur Gegenwart vergangen ist, als verschwindend klein betrachtet werden darf. Denn diese Epoche umfaßt erstens den eigentlichen Erkaltungs-

prozeß des Erdkörpers mit allen seinen Eruptionserscheinungen, also auch die Bildung der Panzerdecke, und zweitens die Summe der Vorgänge, durch welche die Umbildung eines Teiles der Eruptionsmassen in metamorphische Gesteine bewirkt worden ist."

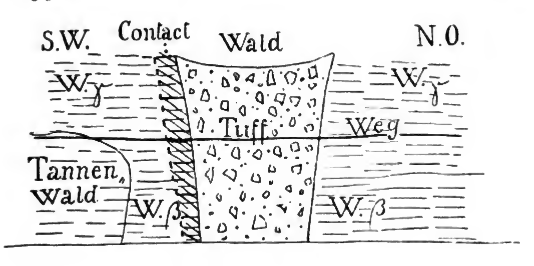
Man hat bisher angenommen, daß diejenigen Gesteinsmassen, in denen unsere Beobachtungen und Ermittelungen bezüglich der geothermischen Tiefenstufen angestellt worden sind, entweder zur ursprünglichen Erstarrungskruste selbst gehörten oder der letzteren direkt auflagerten. Das ist nun aber, wenn wir uns auf den Boden der Lehre Stübels von der Panzerdecke stellen, irrig. Erkennen wir diese als richtig an, so müssen wir folgern, daß die in dem uns zugänglichen Teil der Erdrinde vorhandene und nach der Tiefe zu anwachsende Wärme nicht von der planetaren Erstarrungskruste selbst ausgestrahlt werden kann, sondern nur von der Panzerdecke und den von ihr umschlossenen peripherischen Herden, auf welche wir nachher noch eingehender zurückkommen werden. Wir rufen uns zum Verständnis des hier Gesagten wieder ins Gedächtnis zurück, daß die Panzerdecke eine sehr beträchtliche Mächtigkeit besitzt und nach den weiter oben gemachten Ausführungen wohl schon in einer Tiefe von 40—50 km glutflüssig sein würde, wenn die Temperaturzunahme in gleichem Maße erfolgte, wie in den

uns in dieser Hinsicht bekannten Teilen der planetaren Rinde. In diesem Falle könnte es dann aber auch keine Erstarrungskruste unter der Panzerdecke mehr geben, weil der glutflüssige Aggregatzustand schon in Tiefen vorhanden wäre, die wahrscheinlich noch oberhalb der ersteren lägen. Stübel nimmt darum zwei verschiedene Arten von geothermischen Tiefenstufen an, und zwar einmal diejenigen, von denen wir einen Teil durch die direkte Untersuchung festzustellen vermögen, diejenigen, die der Panzerdecke und den sie überlagernden Gesteinsbänken zukommen. „Je nach dem Punkte der Beobachtung verhalten sie sich in ihrer Progression von der heutigen Oberfläche der Erde nach der Tiefe hin sehr verschieden, was auch die verhältnismäßig sehr kleine Zahl der Beobachtungsorte klar dargetan hat." Der Anfangspunkt der Skala für die zweite Art liegt nicht an der Erdoberfläche, vielmehr erst im Niveau der planetaren Erstarrungskruste selbst, unterhalb der Auflagerungsfläche der Panzerdecke, und es ist anzunehmen, „daß sie im Gegensatz zu der ersteren, von allen Punkten dieser dem Auge verborgenen Sphäre gegen das Zentrum der Erde hin eine gleichmäßige Progression besitzt, die aber weit langsamer nach der Tiefe zu fortschreiten dürfte, als dies für die erstere experimentell festgesetzt worden ist." Aus dem schon vorher Gesagten erhellt, daß der Tempe-

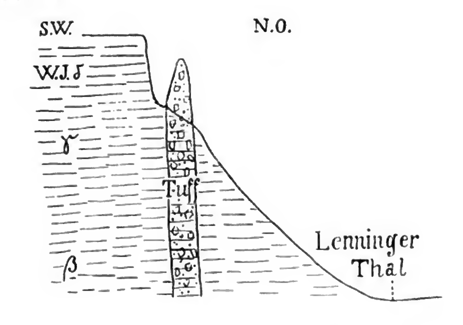
raturgrad, mit dem die zweite Kategorie der geothermischen Tiefenstufen einsetzt, weit unter dem Schmelzpunkt der die oberflächliche Rinde des Planeten zusammensetzenden Gesteine liegen muß.

Schon weiter oben ist ebenfalls angedeutet worden, welches die Veranlassung zum Ausstoßen so ungeheurer Massen glutflüssigen Materials, das die Panzerdecke bildet, gewesen ist. Notwendigerweise mußten nun innerhalb dieser Gesteinsanhäufungen, die ihren in der Tiefe begonnenen Erstarrungs- und Erkaltungsprozeß an ihrem neuen Lagerungsorte noch fortsetzten, die gleichen Vorgänge platzgreifen, wie die waren, durch welche sie auch aus den Eingeweiden der Erde herausgehoben wurden. So entstanden über der Erstarrungskruste Behälter glutflüssigen Magmas, vulkanische Herde, und zwar peripherische Herde, im Gegensatz zu dem zentralen Hauptherde. Bei vielen dieser ersteren darf man a priori eine überaus beträchtliche horizontale Ausdehnung und einen enormen Kubikinhalt voraussetzen. „Wenn wir aber einerseits wissen, welch schlechter Wärmeleiter die Erstarrungskruste eines Lavastromes ist, und uns andererseits vergegenwärtigen, daß diese peripherischen Herde vermöge der bei ihrer Entstehung gebahnten Ausbruchskanäle mit dem zentralen Hauptherd in Verbindung bleiben und von diesem aus jederzeit aufs

Figur 1.

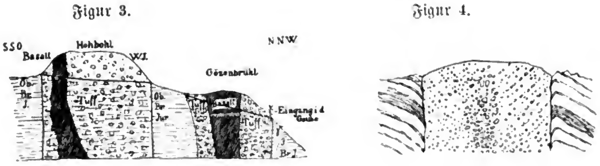


Figur 2.



Figur 3.

Figur 4.



Figur 1—3. Durchschnitte durch einige ausgeblasene Vulkanröhren Schwabens. Fig. 1. Maar-Tuffgang im Elsachtale bei Urach. Fig. 2. Tuffgang des Conrad-Felsens bei Urach (mündete in einen zerstörten Maarkessel). Fig. 3. Maar-Tuffgänge des Hohbohl und des Götzenbrühl bei Urach. (Nach Branco.) (Zu Seite 69.)

Figur 4. Querschnitt durch ein Neck aus Ost-Fife. Grundriß auf Taf. 3, Fig. 2. (Nach Geikie.) (Zu Seite 62.)

neue gespeist werden konnten, so wird es einleuchten, daß unermeßlich lange Zeiträume verstreichen mußten, bis die vulkanische Kraft in diesen oberflächlich ab-gelagerten Eruptivmassen gänzlich erstarb, und es liegt sogar sehr nahe anzunehmen, daß Herde dieser Art geschaffen wurden, in denen die vulkanische Kraft bis zum heutigen Tage nicht erstorben ist."

Von Lord Kelvin (Sir William Thomson) wurde einmal der Satz ausgesprochen, beim gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft sei diejenige Annahme die vorzuziehende, daß unser Planet einen chemisch un-tätigen, in der Abkühlung begriffenen Körper vor-stelle. Das hat wiederum Friedrich Ratzel eine resig-nierte Ansicht genannt, entstanden unter dem Banne der ehrwürdigen Hypothese von der im Erdinnern noch vorhandenen planetaren Urwärme. Und diese sei aber eine kindliche Vorstellung, sei doch die Erde keine mit der Wärmehaube bedeckte Kaffeekanne, und sei das ferner auch gar nicht die Folgerung aus der Kant-Laplaceschen Theorie. Denn diese verlange vielmehr immer neue Wärmeerzeugung für die Kugel, die sich langsam von außen nach innen abkühlt, zugleich aber auch zusammenzieht, wodurch mehr Wärme ge-schaffen wird, als durch Ausstrahlung verloren geht. „Der zusammenschrumpfende Ball wird aber innerlich wärmer durch die mechanische Folge seines äußeren

Wärmeverlustes, der durch ununterbrochene Wärmeabgabe an seine kalte Umgebung erfolgt.“ Die Erde sei, meint der Genannte, niemals wärmer gewesen, als jetzt, so weit wir in ihrer Geschichte zurückblicken können, besitze demnach eine gewaltige Wärmequelle, handle es sich doch um Millionen von Jahren. Und es sei dieser Wärmevorrat kein passiv aufgespeicherter, sondern ein sich beständig erneuernder.

Schon vor geraumer Zeit ist der Engländer Hopkins durch die Präzessionserscheinungen zu der Überzeugung gebracht worden, unser Erdkörper müsse gänzlich starr sein, eine Anschauung, die auch G. Darwin und andere Physiker und Astronomen immer und immer wieder vertreten haben. Ein glutflüssiger und planetarer Kern wäre nicht imstande der festen Kruste in ihren täglichen Umdrehungsbewegungen zu folgen, und die durch Sonne und Mond auf und an unserem Planeten hervorgerufenen Anziehungserscheinungen müßten im Falle der Existenz eines feurigflüssigen Innern andere sein, als sie tatsächlich sind. Ebbe und Flut könnten nicht zur Ausbildung gelangen, wenn ein von einer dünnen Kruste umschlossener feurigflüssiger Erdkern vorhanden wäre. Man hat nun versucht, diese Behauptung auf experimentellem Wege zu widerlegen, indem man nachweisen wollte, daß eine in einem rotierenden kugeligen Ge-

fäße eingeschlossene Flüssigkeit diesem ersteren vollständig in seinen Bewegungen folgen müsse. Bis zu einem gewissen Grade ist dieser Versuch auch gelungen, aber nur bis zu einem gewissen Grade. Denn eine völlige Übereinstimmung des Bewegungszustandes im Gefäße mit demjenigen der darin befindlichen Flüssigkeit war nicht zu erreichen. Die Eruptionen glutflüssiger Massen aus den Vulkanschloten, die ja mit einem festen und starren Erdinnern nicht zu vereinbaren waren, suchte Hopkins mit der Annahme großer, aber in nur geringen Tiefen belegener Behälter, die mit geschmolzenem Materiale angefüllt seien, zu erklären.

Auch der Österreicher Reyer ist ein Anhänger der Theorie von einem starren oder beinahe starren Erdkörper. Die Hauptmasse des Magmas, des ursprünglich glutflüssig gewesenen Gesteinsbreies ist in der Tiefe verfestigt, und zwar infolge des hohen Drucks, dem die der Verfestigung entgegenwirkende Temperatur die Wage nicht zu halten vermag. Aber dennoch ist das Magma ausbruchsfähig. Entsteht nämlich aus irgendwelchen Gründen, vielleicht infolge von Spannungsunterschieden, ein Riß in der Erdkruste, der sich tief ins Magma hinein erstreckt, so wird Gleiches stattfinden, wie beim Zerbrechen einer mit Paraffin gefüllten Röhre, in welcher diese Substanz unter hohem Druck und trotz hoher Temperatur in

starrem Zustand erhalten wird. Durch die Druckentlastung wird das Paraffin erweicht werden, und Gleiches geschieht mit dem Magma. Da dieses letztere aus einer Reihe verschiedener Silikate von jeweils anderem Schmelzpunkte besteht, so kann es nur teilweise liquid werden. Wäre es nur aus einer Substanz allein zusammengesetzt, so müßte die Verflüssigung dagegen eine allgemeine werden. Die Intensität der erweichenden Wirkung des Risses muß eine um so beträchtlichere sein, je tiefer und je heißer die vom Druck befreiten Teile des Magmas waren.

Reyers Versuch, die von der Astronomie gestellte Forderung eines in starrem Zustand befindlichen Erdinnern mit der zur Erklärung der vulkanischen Erscheinungen notwendigen Annahme des Vorhandenseins glutflüssiger Materie in der Tiefe in Einklang zu bringen, ist ein äußerst geistreicher. Eine noch bessere Versöhnung beider sich scheinbar diametral entgegenstehender Anschauungen hat in neuester Zeit der schwedische Gelehrte Svante Arrhenius angestrebt. Bei Annahme einer geothermischen Tiefenstufe von 30 Meter und bei der Voraussetzung, die Wärmezunahme schreite in größeren Tiefen etwa in gleichem Verhältnis fort, wie dies innerhalb der uns in dieser Hinsicht bekannten 2000 Meter der Fall ist, kommt der Ebengenannte zum Schluß, daß in der Tiefe von

40 km eine Temperatur von 1200° C. entwickelt sein müsse. In derselben Tiefe beträgt der Druck 10840 Atmosphären, wenn man von einer mittleren Dichte der Erdkruste von 2.8 mal derjenigen des Wassers ausgeht. Bei dieser Temperatur aber werden die meisten der gewöhnlichen Mineralien verflüssigt, und diese lösen die schwerer schmelzbaren Bestandteile auf; der letztere Umstand wird durch den hohen Druck wahrscheinlicherweise noch wesentlich begünstigt, weil in den meisten Fällen die Auflösung mit einer Kontraktion verbunden ist. Folglich hat man von einer Tiefe von etwa 40 km ab einen feurig-flüssigen Zustand des Erdinnern anzunehmen, und von da ab herrscht das Magma, eine infolge des hohen Drucks äußerst zähflüssige und wenig zusammendrückbare Flüssigkeit.

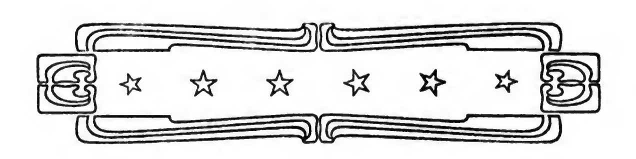
Weil aber in einer Tiefe von 300 km die Temperatur so hoch ist, daß sie zweifelsohne die kritische Temperatur jedes bekannten Körpers übersteigt, so kann dieser erwähnte Zustand des glutflüssigen Magmas nicht bis zu besonders größeren Erdtiefen vorhalten, und es muß das letztere in kontinuierlicher Weise in ein gasförmiges Magma übergehen. Und in diesem dürften die Zähflüssigkeit und der Mangel an Zusammendrückbarkeit noch größere sein, als im flüssigen Magma. Denn, wenn man von Gasen bei hohen Temperaturen und Drucken spricht, wie die-

jenigen, welche im Erdinnern herrschen, so hat man sich darunter — wie Arrhenius an einigen Beispielen zeigt — etwas ganz anderes vorzustellen als das, was man gewöhnlich unter dem Begriff Gas versteht. Die Dichtigkeit, die Kompressabilität und die Zähflüssigkeit eines solchen Gases sind von einer solchen Größenordnung, daß wir es wegen dieser Eigenschaften als festen Körper bezeichnen würden, wenn wir aus wichtigeren Umständen nicht schließen müßten, daß ein gasförmiger vorläge.

Die schon weiter oben angeführte Ansicht vom Vorhandensein eines aus Eisenmassen bestehenden Erdkerns wird auch von Arrhenius geteilt. Zufolge seiner großen Dichtigkeit muß dieser Eisenkern aber tiefer als das Gesteinsmagma liegen und wegen der hohen Temperatur sich in gasförmigem Zustand befinden. Etwa die Hälfte des Erdkörpers dürfte demnach aus Eisen bestehen, worin andere Metalle in geringerer Menge gemischt vorkommen. Der Halbmesser der gasförmigen Eisenkugel würde dann ungefähr 80 Prozent des Erdhalbmessers betragen, dann kämen an 15 Prozente gasförmiges und 4 Prozente flüssiges Gesteinsmagma, während der Rest, nicht ganz ein Prozent, auf Rechnung der festen Erdkruste zu setzen wäre. Zufolge der außerordentlich großen Zäh-

flüssigkeit der unteren Schichten können diese, wenn verschiebende Kräfte auf sie einwirken, ineinander geschoben werden und sich unter der Wirkung der Schwerkraft lange so erhalten, und so ist die Vorstellung erlaubt, daß Eisenmassen, wenn sie sich einmal durch Reduktion oder andere Vorgänge, im Magma befinden, lange genug darin verbleiben können, um von einer vulkanischen Eruption an die Erdoberfläche befördert zu werden. Gleiche Annahmen gelten auch für die verschiedenen Magmaarten, für kieselsäurereichere oder saure, und für basische oder kieselsäureärmere. Bei vorhandenem Ruhezustand müssen die letztgenannten von wegen ihres höheren spezifischen Gewichts die niedrigere Lage einnehmen.

Von allen den in neueren Zeiten aufgestellten Theorien über den inneren Zustand unseres Planeten ist keine, die ein so hohes Maß von Vollkommenheit erreicht hätte, als die soeben ausgeführte des Stockholmer Gelehrten. Und wenn sie auch nur eine Rastvorstellung ist, wie ihre Schwestern alle, so ist sie doch ein auf sehr hoher und luftiger Warte befindlicher Ruhepunkt unseres forschenden Geistes. Die Aussicht, die sich von ihrem Gipfel aus eröffnet, ist eine, so will uns dünken, umfangreichere, als der Fernblick, den uns die bisher bekannt gewordenen Lehren über diesen Gegenstand gewährt haben.



Zweiter Abschnitt.

Der Streit um die vulkanische Spalte.

Neptunistische Anschauungen. Erhebungskrater. Aufschüttungstheorie. Lyells Ansichten von den Vulkanen. Die präexistierende Spalte, ein geologisches Dogma. Erste Versuche, daran zu rütteln. Gilberts Laccolithen. Laccolithbildungen in der Gegenwart. Löwls Abhandlung über Spalten und Vulkane. Ausbruchsröhren im Grand-Cannon-Distrikt. Geikie und die britischen Vulkane. Daraus gezogene Schlüsse. Branco und das Maargebiet von Urach. Ausblasungstheorie. Diatremen in der Karoo. Daubrées Experimente über die Bildung der Diatremen. Einwürfe Chapers. Stübels Meinung von der Unabhängigkeit der Vulkane Südamerikas von präexistierenden Spalten. Brancos Folgerungen daraus. Die mexikanischen Feuerberge und Spalten. Felix und Lenk. Gegnerische Meinung Böses. Ausführungen Bergeats. Spalten sind nicht immer an der Erdoberfläche sichtbar. Was ist eine „Spalte"? Zerrüttungszonen Bergeats. Beispiele hierfür. Können die Vulkane von Südamerika und die Diatremen der Karoo als Beweise für die Ausblasungslehre gelten? Sichtung des Materials, Rekapitulierung und Besprechung desselben. Schluß.

Steinkohlenlager und andere entzündliche Stoffe im Erdinnern, die in Brand geraten sind, verursachen die Entstehung der tätigen Vulkane. So lehrte Abraham Werner in Freiberg; gab es doch für den Vater

der Geologie überhaupt keine aus Glutfluß erstarrten Gesteine! Diese alle waren lediglich durch Wasserabsätze gebildet. Wenn auch diese Ansichten der neptunistischen Schule zu Anbeginn des 19. Jahrhunderts trotz der Arbeiten Spallanzanis, Dolomieus und Anderer die vorherrschenden gewesen sind, so hat es doch schon auch damals nicht an Gegnern derselben gefehlt, und den von Werner geführten Neptunisten standen die Plutonisten mit James Hutton und J. Hall an ihrer Spitze schroff gegenüber. Dieser unliebsame und recht unerquickliche Streit zwischen beiden Richtungen hat viele Jahre hindurch das Interesse der weiteren naturwissenschaftlich gebildeten Kreise in Anspruch genommen.

Durch Werners bedeutendsten Schüler, durch Leopold von Buch, kam die neptunistische Schule wohl gänzlich zu Fall. Reisen in das Gebiet des französischen Zentralplateaus und in das italienische Land hatten die Ansichten Werners bei Leopold von Buch schon bedenklich erschüttert, das Studium der Vulkane auf den Canarischen Inseln mußten den märkischen Edelmann dann völlig von der Unhaltbarkeit der Freiberger Lehren überzeugen. Mit seiner Theorie von den Erhebungskratern hat sich der Schüler in den diametralen Gegensatz zu den Anschauungen seines Lehrers gesetzt. Hand in Hand

mit Leopold von Buch ist ein Anderer gegangen, der gleichfalls zu Werners Füßen gesessen hatte, der Verfasser des Kosmos, Alexander von Humboldt. Die in seiner „Reise in die Äquinoktialgegenden" niedergelegten Beobachtungen und Betrachtungen konnten der Auffassung seines geologischen Freundes nicht nur als wesentliche Stütze dienen, sondern diese noch in vielen wichtigen Punkten ergänzen.

Nun hatte die Lehre von den Erhebungskratern, von einer von unten her nach oben hin wirkenden Stoßkraft der unterirdischen Gewalten, die eine zentrale Emporhebung der Vulkanberge zur Folge haben sollte, nicht bei allen Fachleuten ungeteilte Anerkennung gefunden. Beinahe zu derselben Zeit, in der Buchs epochemachendes Werk über die Canarischen Inseln erschien, hat auch Poulett-Scrope seine Abhandlung „Über Vulkane" der Öffentlichkeit übergeben, noch heutzutage eines der Fundamentalwerke für unsere Kenntnis der vulkanischen Erscheinungen auf Erden. Sein Verfasser bestritt auf das lebhafteste die Möglichkeit einer zur Entwickelung von Erhebungskratern führenden blasenartigen Auftreibung der Erdrinde. Das in ausbruchsfähigem Zustand befindliche Magma ist es, das in seinem Bestreben sich beim Übergang aus dem mehr oder weniger festen Zustand in den flüssigen auszudehnen, Spalten in die über

ihm lagernden Gesteinsmassen reißt und sich somit den Weg zur Erdoberfläche bahnt. Der über einer solchen Spalte zur Entstehung kommende Vulkanberg wird aber nicht durch eine Auftreibung der auseinander gesprengten Gesteinsschichten gebildet, sondern lediglich nur zusammengesetzt durch die aus der feurigen Esse emporgestiegene feuerflüssige Materie, durch die vulkanischen Aschen, Lapilli und Bomben, und durch die Laven. Die Lehre von den Aufschüttungskegeln und den homogenen Vulkanen fand damit ihre erste Begründung. Daß die über dem Magma lagernden Gesteine durch dieses letztere eine Art von Aufwölbung erleiden können, das hat Poulett-Scrope allerdings ebenfalls zugegeben, aber in weiterem Sinne und nicht nur solche lokale Aufrichtung der durchbrochenen Schichten hervorbringend, wie das Buch angenommen hatte. Die seinem Werke entnommene Abbildung (Taf. 3 Fig. 1) mag veranschaulichen, auf welche Weise der englische Geologe sich diese Verhältnisse vorgestellt hat.

Auch Poulett-Scrope hatte die große, bereits am Schluß des 18. Jahrhunderts von Spallanzani hervorgehobene Rolle des Wassers bei den vulkanischen Ausbrüchen richtig erkannt, und Charles Lyell, der durch das Studium vom geologischen Bau der Somma und des jetzigen Vesuvkegels von der Unhaltbarkeit

der Erhebungskratertheorie gründlich überzeugt worden war, schrieb dem Wasser sogar jede ursächliche Tätigkeit bei den vulkanischen Vorgängen und den Erdbeben zu. Die im Felsgerüst der Erde zirkulierenden Wassermengen treffen seiner Meinung nach auf größere und kleinere Massen glutiger Materie, die wiederum durch eine Reihe besonderer Verhältnisse und Kraftäußerungen chemischer, elektrischer und magnetischer Natur entstanden sind; hier verwandelt sich das Wasser in Dampf und muß infolge des hohen Drucks, den es solchergestalt auf die über ihm lagernden Gesteinsmassen ausübt, das Zustandekommen der vulkanischen Erscheinungen bewirken. Einen ferneren Beweis für den innigen Zusammenhang zwischen dem Wasser und den Phänomenen des Vulkanismus sah Lyell noch im Umstande der Nachbarschaft der meisten Feuerberge mit den vulkanischen Depressionen auf unserem Planeten.

Nichtsdestoweniger blieb die Buchsche Lehre bestehen; neben Humboldt bekannten sich Elie de Beaumont, Dufrénoy, St. Claire-Deville, Abich und noch andere große Forscher mehr zu derselben. Erst infolge der vulkanologischen Untersuchungen Hartungs auf den Canaren und den Azoren, Junghuhns auf Java, Danas auf Hawaii, Prévosts in Süditalien, Vogelsangs in der Eifel, Fouqués auf Santorin

und noch Anderer mehr verschwand sie im siebenten Jahrzehnt des verflossenen Jahrhunderts endgültig von der Bildfläche. Mittlerweile waren die Ansichten von Scrope und Lyell die maßgebenden geworden und hatten noch insofern eine Erweiterung erfahren, als durch die zunehmende Kenntnis des Aufbaues der Lithosphäre scheinbar als zweifellos festgestellt werden konnte, daß die Vulkane in inniger Verbindung zu den Dislokationen auf derselben stehen müßten. Da gerade die großartigsten Schollenverschiebungen sehr oft an den Kontinentalrändern, an den Begrenzungslinien zwischen Festland und Meer auftreten, zumal ja die ozeanischen Einsenkungen die abgesunkenen Teile der Erdfeste, die stehen gebliebenen oder emporgehobenen dagegen die Festlandsmassen darstellen, so fand das fast durchgängig auf die Meeresküsten beschränkte Auftreten der tätigen Feuerberge durch diese Umstände die einfachste und verständlichste Erklärung. Für die gleichartige Entstehung vieler Vulkane aus vergangenen geologischen Perioden, die sich in der Gegenwart als in größerer oder auch sehr großer Entfernung vom Meere befindlich erweisen, konnte man ins Feld führen, daß sie zur Zeit ihrer Tätigkeit in der Nähe von größeren Wasserflächen, sei es nun Meer- oder Süßwasser gewesen, gebildet worden seien.

So war also die Präexistenz, das Vor-

handensein einer Spalte die erste Grundbedingung für das Zustandekommen eines Vulkans. Nicht die glutflüssige Materie und die von ihr entsendeten Gase schaffen sich selbst ihren Ausbruchskanal, wie Poulett-Scrope das vertreten hatte, sondern um den feurigen Massen den Austritt aus den Tiefen zur Oberfläche des Erdkörpers zu gewähren, mußte ein solcher a priori schon vorhanden sein. Der von Prévost ausgesprochene Satz, das eruptive Magma benütze lediglich nur die vorhandenen Lösungen der Kontinuität der Erdrinde, um hervorzutreten und sich auszubreiten, erhielt allgemeinere Geltung.

Die Wissenschaft soll nicht dogmatisch sein, denn die Erforschung der Wahrheit darf durch nichts unterbunden und gehindert werden. Voraussetzungslosigkeit, soweit diese menschenmöglich ist, ist für freie wissenschaftliche Forschung eine conditio sine qua non. Wenn nun in neuester Zeit dem Gedanken Ausdruck gegeben worden ist, der Mensch sei von a bis z dogmatisch, und dogmatisch seien die Grundlagen jeder Wissenschaft, so ist das zu bestreiten. Vollends für die Geologie! Haben wir doch im Vorhergehenden gesehen, daß das Meiste dessen, was diese Wissenschaft verkündet, zur Kategorie der Rastvor-

stellungen gehört. Letztere sind uns aber nur Mittel bei unserem Suchen nach der Wahrheit, nicht jedoch die Wahrheit selbst, wenn man so will, nur temporäre, nur subjektive, nicht aber objektive Wahrheit. Hat aber jemals ein Dogma, ein Glaubenssatz, in der geologischen Wissenschaft bestanden, so ist es sicherlich derjenige gewesen, der das Vorhandensein einer Spalte zur Vorbedingung jeder vulkanischen Kraftäußerung („vulkanisch" hier im engeren Sinne dieses Begriffs gemeint) macht. Um so größeres und gewaltigeres Aufsehen mußten demgemäß auch die erst ganz schüchtern, dann mit immer mehr Nachdruck auftretenden Versuche erregen, an der Richtigkeit dieses geologischen Dogmas zu rütteln.

Nach Branco, der unter den Geistern, welche die Präexistenz einer Spalte verneinen, vornean steht, ist der erste Ansturm gegen diese scheinbar so festgegründet gewesene Lehre durch den Amerikaner Gilbert getan worden. Dieser wies im Staate Utah in Nordamerika, in den Henry Mountains, ganz eigenartige domförmige Auftreibungen der dortigen Sedimentärmassen auf einem Plateau von 1500 Meter Meereshöhe nach, zu denen der bekannte Mount Ellsworth gehört. Die höchste Kuppe, der Mount Ellen, erhebt sich bis zu 3429 Meter über den Spiegel des Ozeans. Trachytische Gesteine von linsenförmiger Ge-

staltung, welche zwischen die sedimentären Ablagerungen von unten her hineindrangen, haben diese Aufwölbungen bewirkt, deren Erzeuger den Namen Laccolithe führen. An die Erklärung dieser Erscheinungen hat sich eine lebhafte Kontroverse geknüpft. Nach Sueß war es unbedingt notwendig, daß dem Einbruch des Magmas in die Schichtenreihe die Bildung eines entsprechenden Hohlraumes voraus ging, dessen Entstehung durch Massenbewegungen innerhalb der Lithosphäre zu suchen sei. Es ist auch behauptet worden, der von den laccolithischen Gesteinen eingenommene Raum sei vordem von anderen Felsarten ausgefüllt worden, die aber bei der Laccolithbildung vom Magma aufgeschmolzen worden seien. Vielleicht ist es bei der Erzeugng von Laccolithen nicht immer nur bei einer Auftreibung der über dem eindringenden Magma befindlichen Gesteinsschichten geblieben, sondern das letztere ist auch an der Erdoberfläche selbst eruptiv geworden, wie sich aus den Beschreibungen schließen ließe, die vom Laccolithen am Mount Hesperus in der Sierra La Plata (Südwestcolorado) gemacht worden sind. Von diesem aus dringen eine Anzahl von Lagergängen in die darüber liegenden Gesteine der Kreide ein. Und ein Laccolith der Spanish Peaks zeigt nicht nur ähnliche Erscheinungen, sondern sogar auch Gänge am Scheitel. Bei einem dieser letzteren



Der Vulkan auf Volcano im Ausbruch. (Nach Johnston-Lavis.)

scheint sogar ein Ausquellen der Eruptivmassen an die Erdoberfläche stattgefunden zu haben.

Laccolithische Bildungen sind nicht nur auf die Neue Welt beschränkt, wie die fortschreitende geologische Erforschung der Erde bewiesen hat. Auch in Europa sind dergleichen Dinge vorhanden, von denen später noch einmal die Rede sein wird. Dann ist dieser Vorgang nicht allein auf die Vergangenheit beschränkt gewesen. Man könnte eigentlich den Georgios auf Santorin, der sich am 4. Februar 1866 zum ersten Male über die Meeresfluten erhob, und dessen Geschichte wir schon früher einmal eingehender behandelt haben, auch dazu rechnen. Wenn, wie dies von dem französischen Geologen Lapparent bemerkt worden ist, während der vorhergegangenen Ruheperioden beim Vulkan von Santorin auf dem Meeresboden der Inselbucht eine entsprechende Sedimentärbildung zur Ablagerung gekommen wäre, so würde diese durch die austretenden Lavamassen des Georgios mit in die Höhe gehoben und aufgewölbt worden sein und es wäre eine laccolithartige Erscheinung gezeitigt worden. Und in den jüngstverflossenen Jahren endlich konnte am Vesuv ein Vorgang beobachtet werden, der zweifellos große Ähnlichkeit mit der Laccolithbildung hat.

Dort hatte sich infolge der seit dem 3. Juli 1895

anhaltenden eruptiven Tätigkeit dieses Vulkans auf einer am Nordwestgehänge des Kegels aufgerissenen Spalte im Atrio del Cavallo eine kuppenförmige Lavaerhebung gebildet, welche 835 Meter über die Meereshöhe aufgestiegen war. In den Monaten Februar und März 1898 erlitt die bis dahin flache Kuppe eine merkliche Aufblähung und dabei einen Höhenzuwachs von 15 Meter. Die Lavasäule, welche durch den Kuppengipfel nicht mehr austreten konnte, muß die ganze Kuppe hochgehoben haben, bis sie einen neuen Ausweg fand. Während der Zeit der Aufblähung der Kuppe war die Lava im großen Vesuvkrater bis zu 60 Meter gestiegen, nachdem sie früher bis zu einer Tiefe von 200 Metern gesunken war, ein weiterer Beweis für die Erklärungsweise dieses ganzen Vorgangs durch Matteucci, der also eine laccolithische Zwischenschiebung (Intrusion) frischer Lava zwischen die schon erhärteten Bänke der Lavakuppe darstellen würde. Im Jahre 1899 betrug die Höhe der gehobenen Lavakuppe über dem Niveau des Atrio del Cavallo 163 Meter und hatte einen Inhalt von 125 Millionen Kubikmeter.

Im Jahre 1886 hat Ferdinand Löwl eine Abhandlung veröffentlicht, „Spalten und Vulkane", die schon darum von größter Bedeutsamkeit ist, weil darin unseres Wissens zum ersten Male klipp und klar ausgesprochen wurde, daß das Magma imstande sei,

sich seine eigenen Wege auszusprengen. Daneben sind aber auch wahre Lavagänge durchaus möglich, denn „es wäre ja nicht einzusehen, warum das Magma, wenn es während des Durchbruches durch die Erdkruste in den höheren Schichtenreihen auf Brüche stößt, diesen Brüchen nicht folgen und in ihnen nicht gangförmig erstarren wollte. Ob dabei klaffende Risse oder nur Flächen gelockerten Zusammenhaltes, gleich den Schichtfugen, ins Spiel kommen, bleibt ohne Belang. In beiden Fällen muß die Kraft, welche die Lava emportreibt, im Vereine mit den aussprazenden Gasen die Hauptarbeit leisten." „Daß die Vulkane vorzugsweise auf solchen Schollen der Erdrinde sitzen, welche von Bruchlinien durchzogen sind," so äußert sich Löwl weiter, „wird heutzutage wohl niemand mehr in Abrede stellen. An den niedergebrochenen Rändern pelagischer Becken, auf der abgesunkenen Innenseite mancher Faltengebirge und auch in zerstückten und verworfenen Tafellandschaften herrscht zwischen dem Gebirgsbaue und den Eruptionen ein gesetzmäßiges Verhältnis, mit dem sich jede Vulkantheorie abfinden muß. Doch über dieses Zugeständnis darf man ohne zwingende Gründe nicht hinausgehen. Ist eine Bruchregion der Schauplatz vulkanischer Ausbrüche, so folgt daraus noch nicht, daß diese Ausbrüche an die einzelnen Bruchlinien gebunden sind."

Die Basaltdecken, die sich während der Tertiärzeit in Nordböhmen südlich vom Steilabbruch des Erzgebirges ausgebreitet haben, lasten auf dem abgesunkenen Südflügel dieser Bodenerhebung, und auf dem Scheitel der letzteren selbst treten bekanntlich zahlreiche Basaltkuppen auf. Demnach sind hier die vulkanischen Ergüsse nicht auf der Bruchlinie selbst, wohl aber nördlich und südlich von derselben erfolgt.

Die drei Leistungen, welche die Spaltentheorie den großen Bruchspalten zumutet, nämlich einmal das Hinableiten des Wassers zu den vulkanischen Herden, sodann die örtliche Entlastung des unter dem hohen Druck der Erdrinde verfestigten Magmas, damit es sich verflüssigen kann und ausbruchsfähig wird, endlich die Möglichkeit, dem Gesteinsbrei den Durchbruch durch die Gesteinshülle der Erde bis zu deren Oberfläche zu gewähren, sind nach Löwl durchaus unvereinbar mit unseren gegenwärtigen Ansichten vom Verhalten der Gesteine in einer gewissen Tiefe. Denn diese letzteren müssen hier in einem latent-plastischen Zustand sein, und darum sind auch alle Spalten und alle Wasserwege darin verquetscht und verschlossen. Nach den von Heim bei seinen Studien über den Mechanismus der Gebirgsbildung gewonnenen Anschauungen ist es undenkbar, daß Wasser in Tiefen über 5000 Meter unter das durchschnittliche Niveau der Erdoberfläche

eindringen kann, und aus diesem Grunde müssen auch die vulkanischen Herde vom Meerwasser abgeschnitten sein. Und ebensowenig ist die latente Plastizität der Gesteine mit der Annahme einer zeitweisen Entlastung des durch den Druck verfestigten Magmas in Einklang zu bringen. Ist also in solchen Tiefen eine Spaltenbildung unmöglich geworden, dann ist auch das Aufsteigen glutflüssiger Materie in solchen Rissen absolut ausgeschlossen.

Eine wesentliche Stütze haben diese mehr theoretischen Ausführungen Löwls erhalten durch die von Dutton gemachten Beobachtungen auf dem Uinkaret-Plateau im Grand Cannon-Distrikt. Letzterer konnte nämlich nachweisen, daß alle Schlote der auf der eben genannten Hochfläche ausgestreuten Kraterberge die zusammenhängende Schichtentafel selbst durchbrechen und den großen Spalten derselben fernbleiben, und in einem äußerst lehrreichen Profil der linken Talwand im Grand Cannon selbst den Verlauf einer solchen Basaltröhre bis zu ihrem hart am Steilabsturz der Schlucht aufgesetzten Schlackenkegel auf einem vertikalen Abstand von etwa 1000 Meter verfolgen.

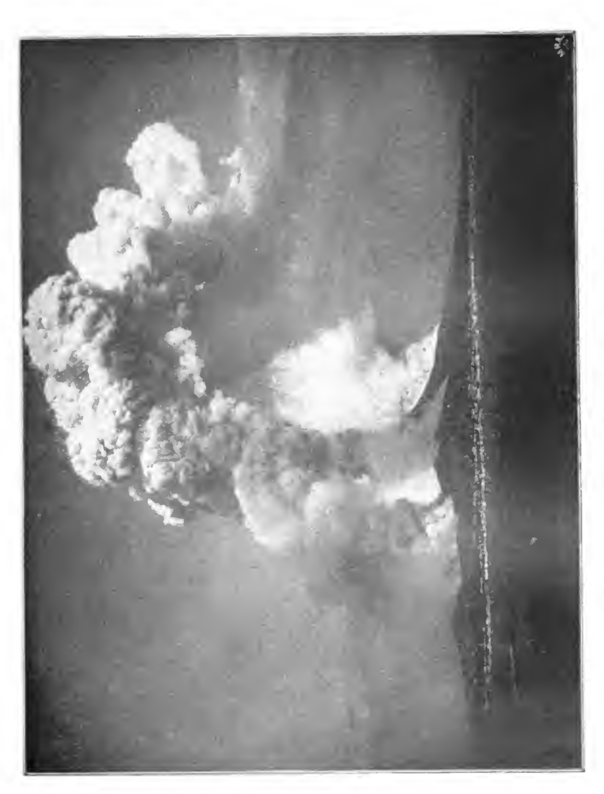
Eigentümliche, runde bis elliptische, von Tuff ausgefüllte, röhrenartig die Erdschichten durchbrechende Erscheinungen im Paläozoikum Mittelschottlands wurden bereits im Jahre 1879 unter der Bezeichnung

„Necks“ von A. Geikie beschrieben. Diese Gebilde besitzen große Verbreitung in den dortigen karbonischen Schichten und treten sowohl im Inlande als auch an den Meeresküsten auf, ganz ausnahmsweise nur in der Verbindung mit einer Dislokation der Gesteinsschichten. Es erscheint sogar als Regel, daß ihr Auftreten unabhängig ist von der Bildung des sichtbaren Teils jenes Stückes Erdoberfläche, auf der sie zur Ausbildung gelangt sind. Ihr Durchmesser ist ein sehr wechselnder und kann nur wenige Yards, anderenteils aber auch zwei englische Meilen und mehr betragen. In einer seiner späteren Publikationen, die sich mit den ehemaligen Vulkanen des britischen Inselreiches in eingehendster Weise beschäftigt, spricht der schottische Geologe die Unabhängigkeit von Spalten nicht nur für diese eben geschilderten karbonischen Vorkommnisse an, sondern verallgemeinert diese Ansicht mit den Worten: „Es kann aber darüber kein Zweifel bestehen, daß bei einer großen Anzahl von Vulkanschloten aus allen geologischen Perioden keine Spur eines Zusammenhangs dieser Gebilde mit irgend einer Spalte in der Erdkruste nachzuweisen ist. Solche Spalten mögen indessen im Untergrunde bestehen und so der aufsteigenden Lava bis zu einer größeren oder kleineren Entfernung von der Erdoberfläche als Durchgangskanäle gedient haben. Das jedoch ist

sicher, daß vulkanische Energie die Kraft besitzt, sich selbst eine Ausgangsöffnung durch den oberen Teil der Erdkruste hindurchzublasen, ohne daß dort irgend eine sichtbare Spalte vorhanden zu sein braucht. Über die Größe der Tiefe, von welcher ab diese Art von Verbindung mit der Außenwelt möglich ist, wissen wir nichts." Diese wird, so äußert sich Geikie weiter, natürlich sehr verschieden und abhängig sein einmal von der Größe der vulkanischen Kraftentfaltung und dann von der Beschaffenheit der Erdfeste an der in Frage kommenden Stelle. Die gegenwärtigen Ausbruchskanäle der nach dem Puy-Typus gebauten Vulkane sind wohl allgemein durch explosionsartige Ausblasungen entstanden, und nicht durch das Aufsteigen der Laven an die Oberfläche vermittelst vorhandener Spalten. Geikie geht sogar noch weiter durch die Betonung, daß die alten Feuerschlünde Großbritanniens verhältnismäßig nur selten mit nachweisbaren Verwerfungslinien in Verbindung stehen, selbst dann nicht, wenn solche Spalten, die wahrscheinlich schon vor den Ausbrüchen ausgebildet gewesen sind, in ihrer Nachbarschaft auftreten. Diese Unabhängigkeit, für welche es jedoch auch gelegentliche Ausnahmen gibt, kommt besonders in den von den Vulkanschloten durchzogenen Kohlenfeldern zum Ausdruck, zumal hier die bergmännischen

Arbeiten viel mehr Verwerfungen registrieren konnten, als deren an der Erdoberfläche zu bemerken sind. Wenn Spalten oder Linien geringerer Widerstandskraft (lines of weakness) die Lage der Ausbruchsschlote in der Erdkruste bedingt haben, so müssen sie unterhalb der nunmehr auf der Erdoberfläche sichtbaren Gesteinsmassen liegen. Einige der hervorragendsten Gruppen von tätigen Vulkanen sind sicherlich derartig reihenweise auf der Erdoberfläche angeordnet, als ob sie auf solchen großen Spalten zur Ausbildung gekommen wären. In der Gegenwart allerdings sind diese letzteren an Ort und Stelle nicht mehr zu sehen, und ihr Vorhandensein ist lediglich Mutmaßung und auf Wahrscheinlichkeitsschlüsse begründet. Dort aber, wo die Spalte an der Oberfläche wirklich einmal vorhanden war, dort würde sie durch die verschiedentlichsten Wirkungen der Eruptionstätigkeit dennoch zweifellos verhüllt und verdeckt worden sein.

Ferner hat der Genannte im Verlaufe seiner Untersuchungen über die alten Vulkanberge Großbritanniens die Wahrnehmung machen können, daß zwischen der Lage der Schlote und der ehemaligen Oberflächengestaltung des betreffenden Areales auffallende Beziehungen bestehen. Aus der langen Entwickelungsgeschichte der britischen Vulkane, soweit zurück deren Auftreten auch verfolgt wurde, geht klar



Der Vesuvausbruch im Jahre 1872. (Aus: Deecke, Italien.)

hervor, daß die dem Austritt der eruptiven Materie dienenden Öffnungen stets viel mehr in Niederungen und Talgründen als auf Bergeshöhen und Hügeln zur Entfaltung kamen. Dieser Umstand, also die Lage der Vulkane in Talzügen, mag im allgemeinen auf im Untergrunde vorhandene und die Richtung bedingende Spaltenlinien zurückzuführen sein, einerlei ob diese letzteren innerhalb oder unterhalb der an der Oberfläche sichtbaren Gesteinsmassen verlaufen. Zuweilen dürften aber doch auch anderweitige Ursachen die in Frage kommenden Erscheinungen zum Ausdruck gebracht haben. An Stellen, wo das unterirdische Magma bis zu einer verhältnismäßig geringen Entfernung von der Erdoberfläche aufzusteigen vermocht hat, mag eine Mächtigkeitsdifferenz von einigen hundert bis tausend Fuß in den überlagernden Schichten, wie eine solche ja durch den Höhenunterschied zwischen der Talsohle und den diese einschließenden Bergesgipfel bedingt wird, den Austritt der glutflüssigen Materie auf die Punkte hingelenkt haben, wo das Hangende die geringste Stärke besaß, also auch den geringsten Widerstand entgegenbrachte.

An anderen Stellen der Erde hat man diesen Verhältnissen entgegengesetzte Beobachtungen machen können. So liegen die Vulkane von Bertrich in der Eifel auf dem Plateau, das sich 230 Meter über dem

tief eingeschnittenen Üßbachtale erhebt und nur 500 bis 600 Meter davon entfernt, „und bleibt es", so meint Dechen, „auffallend, daß sie in dieser Nähe dennoch auf der Höhe ausgebrochen sind, während ihnen ein leichter Ausweg in der Tiefe des Tales geboten war," um so auffallender, als sich diese Erscheinung an mehreren Stellen der Vulkanreihe (der Eifel) wiederholt. Für alle Feuerschlünde der Eifel ist dies allerdings nicht der Fall, und es muß betont werden, daß sogar einmal ausdrücklich hervorgehoben wurde, wie eben diese Ausnahmsvorkommnisse eigentlich keine Bedeutung hätten, zumal seit den Tagen der eruptiven Tätigkeit die Talvertiefungen sehr weit vorgeschritten und darum eben die Vulkane damals nicht auf den Höhen gelegen gewesen seien. Die Berge sind vielmehr erst durch die Talerosion zu Erhebungen geworden. Aber gerade die Vulkane von Bertrich stehen über einem alten Taleinschnitt, der also schon vorhanden war, als sie gebildet wurden, und Vogelsang hat diesen Umstand damit zu erklären versucht, daß das Magma hier auf schon gebahntem Wege friedlich emporgedrungen, nicht gewaltsam durchgebrochen sei. Eine lokale Auflockerung des Gebirges durch vorbereitende vulkanische Aktion, so ist seine Ansicht, müsse offenbar unabhängig sein von den Konturen der Erdoberfläche.

Je stärker die Äußerungen vulkanischer Kraft zum Ausdruck gekommen sind, je umfangreicher die Gebiete waren, über die sie sich ausbreiten konnten, und je länger die Dauer ihres Auftretens war, um so größer mußten auch die Bewegungen der Erdkruste sein, mit welchen sie in Verbindung standen, und um so ausgedehnter die Areale des Planeten, welche von diesen Bodenbewegungen in Mitleidenschaft gezogen wurden. Einen bemerkenswerten Beweis für einen solchen Zusammenhang scheint die Geschichte der Tertiärvulkane zu liefern, und auch die vulkanischen Ausbrüche früherer geologischer Perioden in Großbritannien haben bedeutsame Fingerzeige für einen derartigen Konnex ergeben. Über alle Zweifel erhaben steht die Tatsache da, daß die vorweltlichen Feuerschlünde des britischen Inselreiches auf einsinkenden, nicht aber auf sich erhebenden Schollen der Erdrinde aufgesetzt gewesen sind. Zwar steht das eigentlich im Widerspruch mit unseren üblichen Annahmen, wonach mit vulkanischer Kraftäußerung Hebung und nicht Senkung verbunden sein soll, wie uns das die in der Gegenwart tätigen Feuerberge lehren. Haben doch ihrer viele und daneben auch manche jüngst erloschene ihr Dasein als submarine Vulkane begonnen. So beispielsweise der Ätna und der Vesuv! Eine solche Hebung mag aber nach Geikies Auffassung nur eine zeitliche

Erscheinung sein. Wären wir imstande, die gesamte jüngste geologische Periode zu verfolgen, von welcher die menschliche Geschichte ja nur einen recht kleinen Teil zu registrieren vermag, so fänden wir wohl, daß schließlich doch Senkung und nicht Hebung für vulkanische Gebiete die Regel ist.

Die bei seinen Untersuchungen über die Feuerschlünde Großbritanniens gewonnenen Resultate Geikies lassen sich bezüglich der Frage nach dem Fehlen oder nach dem Vorhandensein einer Spalte folgendermaßen zusammenfassen:

1. Für eine große Anzahl von Vulkanen läßt sich irgend ein Zusammenhang mit an der Erdoberfläche sichtbaren Spalten nicht nachweisen. Die Möglichkeit, daß aber im Untergrunde solche Dislokationen bestehen, ohne daß sie jedoch an der Oberfläche zum Ausdruck kämen, ist nicht ausgeschlossen.

2. Demnach muß also die vulkanische Kraft zweifellos die Macht besitzen, sich ihren Weg zur Oberfläche durch die das Magma überlagernden Gesteinsmassen hindurch selbst zu bahnen, oder wenigstens den letzten und obersten Abschnitt dieses Weges.

3. Eine Neigung des Magmas, an denjenigen Stellen auszubrechen, wo dasselbe infolge der geringeren Mächtigkeit der überlagernden Gesteins-

schichten den geringsten Widerstand finden wird, ist unverkennbar, denn mit Vorliebe liegen die Schlotausgänge der Vulkane in Tälern und in Niederungen.

Und als weitere wichtige Ergebnisse, wenn auch in nicht so direktem Zusammenhang mit der hier erörterten Frage stehend, wie die ebenerwähnten drei Sätze, wären zu vermerken:

Die allermeisten magmatischen Ergüsse in der geologischen Geschichte Großbritanniens stehen wohl in Verbindung mit krustalen Bewegungen. Je umfangreicher an Masse, Areal und Zeit diese ersteren gewesen sind, um so ausgedehnter und weitgreifender werden auch diese letzteren sich gezeigt haben.

Senkung und nicht Hebung dürfte wohl das endgiltige Schicksal einer Erdscholle sein, auf welcher vulkanische Kraft sich betätigt, resp. sich betätigt hat.

Mitten im Herzen Schwabens, am nordwestlich orientierten Steilabhang der schwäbischen Alb, in einem der klassischsten Gebiete der Geologie, in der Umgebung von Urach, sind die Gesteine des jurassischen Systems auf eine etwa 20 Quadratmeilen große Erstreckung hier von einer größeren Anzahl von Ausbruchsröhren siebartig durchbohrt. Es sind die Schlote von etwa 130 Embryonalvulkanen, von Maaren der Tertiärzeit wohl mittelmiocänen Alters, Röhren von

rundem oder ovalem Durchschnitt, nie längsgestreckt, und nicht von festen Gesteinsmassen erfüllt, sondern von Tuffen, ein breiartiges „wirres Gemenge von vulkanischer Asche und eckigen Bruchstücken aller derjenigen Gesteine der Erdrinde, welche bei der Bildung des Ausbruchskanals durchbrochen wurden." Diese ursprünglich losen Auswurfsmassen werden hier und da von in denselben auftretenden gangartigen Bildungen erstarrten Magmas (Melilitbasalt in vorwiegender Menge, untergeordneterweise auch Feldspat- und Nephelinbasalt) durchsetzt. Das läßt sich alles sehr gut beobachten, weil die am Steilabhang der Alb tätige Erosion ungleich wirksamer ist, als diejenige auf dem tafelbergartigen Plateau dieser Erhebung, die im wesentlichen also nicht durch wagerechte, sondern durch senkrechte Schnitte abgetragen wird, so daß ihr Nordwestabhang im stetigen Zurückweichen begriffen ist. Etwa „wie ein flacher Kuchen, welcher nicht durch horizontal erfolgendes schichtenweises Wegschneiden immer niedriger, sondern durch senkrechtes Abschneiden von Stücken immer kleiner an Umfang wird, aber bis zum letzten Reste hin doch stets gleiche Höhe behält." Der nördlich vom Neckar belegen gewesene Teil des in der Vorwelt ungleich ausgedehnter gewesenen Vulkanareals von Urach ist der Erosion schon längst so sehr zum Opfer gefallen, daß hier

nur noch ganz vereinzelte Spuren davon übrig geblieben sind. Dagegen hat diese gesteinszerstörende Kraft in der Gegenwart am Abfall der Alb und in dessen unmittelbarem Vorland viele Vulkanröhren derartig freigelegt, daß wir die sie ausfüllenden Tuffsäulen bis in die große Tiefe von etwa 500—800 Meter hinein verfolgen können. „Wir haben hier eine Erosionsreihe dieser Gänge vor Augen, wie sie schöner und lehrreicher nicht gedacht werden kann. Alle Übergänge sind vorhanden, von dem noch fast völlig erhaltenen Maarkessel an: durch den leicht verletzten, den ganz abgetragenen Kessel, den soeben aus dem Nebengestein den Kopf herausstreckenden Tuffgang der Maare, bis hinab zu dem aus Hunderten von Metern Tiefe herausgearbeiteten Gange und seinem Basaltkerne."

Die Maarkessel sind selbstverständlicherweise nur noch auf dem Albplateau selbst erhalten und haben einen verschieden großen Durchmesser. Das größte, das Raudecker Maar, besitzt einen solchen von 1000 Metern, eines der kleinsten, dasjenige von Apfelstetten bei Münsingen, weist nur 300 und 250 Meter Durchmesser auf. Die für die Eifelmaare typisch trichterförmige Gestaltung fehlt den schwäbischen Vorkommnissen; es sind mehr kesselförmige Bildungen, ausnahmslos ohne Kranz- oder Randwall von Schutt

und Tuffen, kreisförmig oder oval, soweit sich deren Umfang eben noch feststellen läßt, auch von wechselnder Tiefe (30—20 Meter), wobei aber zu bemerken ist, daß diese letztere nicht mehr die ursprüngliche ist, indem sie durch Abtragung des Kesselrandes und durch gleichzeitige Erhöhung des vormaligen Kesselbodens durch hinabgespülten Detritus verringert wurde.

Daß diese sonderbaren vulkanischen Erzeugnisse auf dem geologisch so gründlich durchforschten Boden Schwabens schon vielfach den Gegenstand eingehender Untersuchungen gebildet haben müssen, das liegt auf der Hand. Und so haben sich denn auch schon vor längerer Zeit einige der namhaftesten Geologen Württembergs mit der Frage nach deren Entstehungsweise beschäftigt; die Lösung jedoch sollte keinem derselben so recht gelingen, und nicht dem Einheimischen sondern dem Nichtschwaben blieb es vorbehalten, den Schleier völlig zu lüften. Es hat, wir wollen das hier ganz besonders betonen, viel Scharfsinn dazu gehört, und dann auch ein in Dingen des Vulkanismus wohlgeschultes geologisches Wissen. Für beide Dinge war Branco, wie das Beispiel gezeigt hat, der rechte Mann.

Irgendwelche Spaltenzüge oder Verwerfungslinien, längs welcher die schwäbischen Embryonal-

vulkane angeordnet sein könnten, lassen sich an der Oberfläche jedenfalls nicht nachweisen. Die Unabhängigkeit dieser letzteren von einem zerklüfteten Untergrunde, die Branco bei seinen Untersuchungen nur als seine auf gewisse Beobachtungen gegründete feste Überzeugung aussprechen konnte, mangels einer damals auf diese Gesichtspunkte hin nicht durchführbaren genauen geognostisch-kartographischen Untersuchung des betreffenden Gebietes, ist inzwischen durch neuere Arbeiten von Eberhard Fraas in einwandfreiester Weise bestätigt worden. Nicht nur daß die dort vorhandenen tektonischen Störungen ganz unabhängig von den vulkanischen Herden verlaufen, sondern es sind die ersteren vielleicht sogar noch jünger, als diese.

Als Resultat seiner Forschungen über das soeben erwähnte Maargebiet sprach Branco die Ansicht aus, „daß die so zahlreichen, freilich nur embryonal gebliebenen Vulkanbildungen in der Umgebung von Urach an der Schwäbischen Alb sich unabhängig von Spaltenbildungen vollzogen hätten. Eine weitere Stütze für seine Anschauung erhielt Branco durch die ihm von dem Straßburger Gelehrten Bücking gemachten Mitteilungen. Dieser, der lange Jahre hindurch die geologische Aufnahme des Rhöngebirges ausgeführt hatte, konnte ihm die Überzeugung aussprechen, „daß mindestens viele der dortigen, teils mit Basalt, teils

mit Tuff erfüllten Durchbruchskanäle ganz zweifellos in vollster Unabhängigkeit von Spaltenbildungen entstanden sind. Die Ähnlichkeit dieser vulkanischen Bildungen der Rhön mit denen von Urach erstreckt sich also nicht nur auf ihre äußere Erscheinungsweise, sondern auch darauf, daß die vulkanischen Massen sich hier ebenfalls selbsttätig Wege gebahnt haben."

Einen weiteren Beweis für die Richtigkeit seiner Ansicht hatte Branco in dem Umstande gefunden, daß bei den Maarbildungen der Eifel eine an der Erdoberfläche bemerkbare und mit diesen letzteren in Verbindung stehende Bruchlinie nicht nachweisbar vorhanden ist. Dechen, der kompetenteste Kenner dieses Vulkangebietes, sagt nur, daß diese Maare in einer bestimmten Linie liegen, aber den Beweis, daß dieser die Bedeutung einer bis an die Erdoberfläche reichenden Bruchlinien zukommt, kann er nicht führen.

Auch die Diatremen in der Karoo von Südafrika sind von Branco herangezogen worden, um ihm als Zeugen gegen das Dogma von der Notwendigkeit einer präexistierenden Spalte bei vulkanischen Eruptionen zu dienen. Es sind dies zylindrische Röhren, die senkrecht in die Tiefe hinabsetzen, in die Hochebene der Karoo eingesprengt sind und sich in einem Gebiete finden, das sich vom Hart River in Griqualand bis Fauresmith im Oranje-Freistaat

über Kimberley in einer Längserstreckung von 200 Kilometer ausdehnt. In der Füllmasse dieser Gebilde sind die Fundstellen für die südafrikanischen Diamanten. Zwischen diesen Diatremen und den Maaren der schwäbischen Alb bestehen nach Branco so viele Analogien im ganzen Wesen und in der ganzen geologischen Ausbildungsweise, die Summe der Ähnlichkeiten zwischen beiden Erscheinungen ist eine so erdrückende, daß die Unähnlichkeiten dagegen zurückstehen müssen.

Daubrée, der bekannte Meister in der Experimentalgeologie, hat zu Anfang des letzten Jahrzehnts im verflossenen Jahrhundert experimentale Versuche über die geologische Rolle angestellt, welche unter hohem Druck befindliche Gasmassen möglicherweise zu spielen berufen sind, und dabei ähnliche Erscheinungen erzielt, wie die südafrikanischen Diatremen. Der geistreiche Franzose kommt dabei zu folgendem Schluß: Bei den tätigen Vulkanen finden die ausbrechende Gase und Dämpfe einen verhältnismäßig leichten Ausweg, denn der schon früher geöffnete Schlot arbeitet etwa wie ein Sicherheitsventil, welches zur Vereitelung der durch Übermaß von Druck hervorgerufenen schlimmen Folgen dient. Bevor aber diese Öffnungen in der Erdfeste vorhanden waren, müssen die Druckverhältnisse, unter

denen die Gase standen, eine für uns nicht mehr abschätzbare Größe erreicht haben. Die Tausende von Atmosphären betragenden Spannungen, welche wir mit unseren Explosivstoffen hervorzubringen vermögen, konnten bei den im Erdinnern eingeschlossenen Gasen um vieles überboten werden. Und dann ist dabei ja im Auge zu behalten, daß in den meisten Fällen das Wasser das explodierende Agens war, dessen überaus großartige Wirkungen in dieser Hinsicht bekannt und auch noch experimentell festgestellt worden sind.

Daraus aber dürfen wir logischerweise abstrahieren, daß den in der Gegenwart betätigten Äußerungen der vulkanischen Kraft andere und diesen an Gewalt und Macht bedeutend überlegenere vorangegangen sind. Auf die feinen Spalten und deren Kreuzungspunkte in der Erdfeste konzentrierten die hochgespannten gasigen Massen ihre Kraftwirkung und mußten hier den Durchbruch von Kanälen zur Herausbildung bringen. Es sind denn auch nach Daubrées Meinung die erwähnten diamantführenden Diatremen Südafrikas durch die heftige Explosion vulkanischer Gase hervorgerufene Erscheinungen.

Diese Ansicht ist von einem anderen Franzosen, von Chaper, sofort angegriffen und bestritten worden, der die vulkanische Entstehungsart der Diatremen leugnet, zu ihrer Erklärung allerdings aber auch gasige



Die Solfatara bei Neapel (Phlegraeische Felder).

Substanzen, und zwar Kohlenwasserstoffgase von niedriger Temperatur heranzieht. Die Ausfüllungsmasse der Diatremen hat sich die Kanäle, auf welchen sie zur Oberfläche heraufgestiegen ist, selbst dadurch geschaffen, daß sie an Stellen von nur geringer Widerstandskraft innerhalb des überlagernden Gesteinssystems in dieses hineingepreßt worden ist, durch die treibende Gewalt eines von den eben erwähnten Gasen hervorgerufenen Drucks. Und zwar ist der ganze Vorgang nicht auf stürmische Art und nicht durch eine einmalige Betätigung der drückenden Kraft, wie dies bei den vulkanischen Explosionen geschieht, sondern vielmehr durch eine Reihe solcher Wirkungen und unter ruhigen Verhältnissen erfolgt. „Aber selbst dann noch, wenn diese senkrecht die Erdrinde durchbohrenden Kanäle durch kalte, also nicht einem Schmelzherde entstammende Gase ausgeblasen sein sollten — sind sie immerhin doch noch ein Beweis dafür, daß explodierende Gase die Kraft besitzen, sich selbsttätig zu befreien und ohne Zuhilfenahme von Spalten weite Kanäle durch die Erdrinde zu bohren." Das betont Branco ausdrücklich — und mit vollem Rechte!

Von einer reihenförmigen Anordnung der Vulkane Südamerikas kann man, sagt Stübel, höchstens in ganz allgemein topographischem, aber nicht in wissenschaftlich geogenetischem Sinne reden. Es sind die-

selben keineswegs zu einer ununterbrochenen Kette aneinander gereiht, sondern bilden einzelne Gruppen, welche größere und kleinere Lücken — Lücken bis zu vielen Breitegraden — zwischen sich lassen. Die Unkenntnis der wirklichen Zahl und Lage der tatsächlich vorhandenen Vulkanberge hat dazu geführt, daß die bekannten und in einer Karte kleinen Maßstabes von Südamerika eingezeichneten Vulkane eine lange und nur wenig unterbrochene Reihe von etwa $^1/_8$ des Erdumfangs darstellen. Auf diese merkwürdige Wahrnehmung hin hat man nun nicht gezögert, eine Schlußfolgerung bezüglich des Wirkens der vulkanischen Kräfte zu gründen. Man nahm nämlich an, daß die Kordillere den Verlauf einer großen Erdspalte kennzeichne, welche die Verbindung mit dem Erdinnern vermittle, vielleicht auch dem Meerwasser den Zutritt in den vulkanischen Herd gestatte und so die Entstehung der Vulkanberge am einfachsten zu erklären vermöchte. Aber die Vorstellung, die Hypothese, daß sämtliche Vulkane von Südamerika, von Columbia im Norden bis nach Chile im Süden, über einen in der Erdschale entstandenen Riß aufgebaut seien, entbehrt der Begründung und kann mit den tatsächlichen Beobachtungen nicht in Einklang gebracht werden. „Ihr Wert liegt allein darin, daß sie uns einmal recht deutlich vor Augen führt, wie Hypothesen entstehen können, die

jahrzehntelang in Lehrbüchern als geheiligte Überlieferungen fortleben, und durch deren Verallgemeinerung man der Wissenschaft einen besonderen Dienst zu erweisen glaubt, oder ihr doch mindestens den Anschein verleiht, als könne sie bereits mit großen, allseitig beglaubigten Zahlenwerten rechnen."

Es handelt sich, so glaubt Stübel ferner, bei den Vulkanen der südamerikanischen Westkordillere nicht sowohl um eine kettenartige Aneinanderreihung dieser Feuerberge, als vielmehr um eine Anzahl ausgedehnter Vulkangruppen, von denen jede einen oder mehrere lokalisierte Herde besitzt, ganz in der Art, wie dies auch für vulkanische Inseln und Inselgruppen angenommen werden darf.

Daß eine solche Behauptung von seiten eines Mannes, der dem eingehendem Studium der Vulkane von Ecuador viele Jahre seines Lebens gewidmet hatte, großes Aufsehen erregen mußten, das liegt auf der Hand. Und so ruft denn auch Branco aus: „Meine Ansicht von der Unabhängigkeit vulkanischer Eruptionen von vorausgegangener Spaltenbildung ist gefolgert aus den Maaren und maarähnlichen Bildungen in Schwaben, in der Rhön, Eifel, Schottland und vielleicht auch in Südafrika, und meine diesbezüglichen Behauptungen galten nur diesen meist embryonalen vulkanischen Erscheinungen, den Dingen, die Geikie als

zum Putztypus gehörig bezeichnet hat, nicht den aufgeschütteten Vulkanbergen, den Gebilden vom Vesuvtypus. Nun aber kommt Stübel und sagt uns, daß auch nicht nur große und mächtige Vulkanberge, nein gerade die höchsten und gewaltigsten der Erde sich unabhängig von Spalten gebildet haben."

Daß ein gewisser Teil der Vulkane von Spalten abhängig sein mag, diese Möglichkeit gibt Branco allerdings zu, dreht hier aber in geschickter Weise den Spieß um, indem er die Frage vorlegt, ob denn eine bei einem Vulkan festgestellte Spalte wirklich auch schon vor dessen Entstehung vorhanden gewesen, ob sie nicht erst nach dessen Aufschüttung gebildet worden sei. Könnte sie doch immerhin erst im Verlaufe der vulkanischen Tätigkeit an der betreffenden Stelle zustande gekommen sein, so daß aus der vermeintlichen Ursache die Wirkung würde, oder gar noch später!

Zwei deutsche Gelehrte, Felix und Lenk, waren gelegentlich einer wissenschaftlichen Reise, welche sie in den Jahren 1887 und 1888 nach Mexiko unternommen hatten, bereits zur Überzeugung gekommen, daß es auch in diesem vulkanbestandenen Lande Feuerberge gäbe, welche nicht an eine Bruchlinie gebunden sind, solche, die weder eine gesetzmäßige Anordnung in bezug auf die Hauptspalte, noch irgend ein Verteilungsprinzip untereinander erkennen lassen,

d. h. nicht auf Linearspalten stehen. Ein derartiger Vulkan ist beispielsweise der gewaltige isolierte Kegel des Malinche. In dem so ungeheuer vulkanreichen Zentralmexiko haben sich neben den über tektonischen Linien bezw. Spalten emporgetürmten Vulkanen auch solche gebildet, deren Lage nicht mit Dislokationen in Beziehung gebracht werden kann, die vielmehr regellos zerstreut auf dem Hochplateau, wenn auch besonders häufig in den der Transversalspalte benachbarten Teilen desselben hervorgebrochen sind.

Nun ist es, und das wird von Felix und Lenk besonders hervorgehoben, durchaus nicht nötig, daß eine jede Spalte innerhalb der festen Erdrinde, die vulkanischen Massen als Ausweg dient, auch wirklich mit einer Dislokation, mit einer Verwerfung verbunden sein muß, wenn dies auch sehr häufig der Fall ist. Also auch dann, wenn in dem Areal, auf welchem der Feuerberg sich aufgebaut hat, keine derartige Verwerfung gefunden werden sollte, auch dann kann sich dennoch ein vulkanischer Gebirgszug, wie der vom Popocatepetl, Ixtaccihuatl, Telapon, Tlamacas u. s. f. gebildete über einer Spalte erheben. Bei Vulkanen von so riesigen Dimensionen, und deren Basis Quadratmeilen überdeckt, dürfte die unmittelbare Beobachtung und der einwandfreie Nachweis von Verwerfungen übrigens nur in den seltensten Fällen gelingen.

Immerhin konnten die Genannten bei ihren an den Vulkanen von Mexiko gemachten Studien als Regel bestätigen, daß der Schauplatz der intensivsten vulkanischen Tätigkeit in der Regel dort stattgefunden hat, wo sich verschiedene Spaltensysteme kreuzten.

Entgegengesetzter Ansicht über die Entstehung der mexikanischen Vulkane ist ein anderer deutscher Geologe, der eine Verknüpfung der vulkanischen Ausbruchsstellen in diesem Teile von Amerika mit Störungslinien nicht gelten lassen, vielmehr auch auf diese Feuerschlünde die „Ausblasungstheorie" Brancos angewendet wissen will.

Einer der ersten, welche sich gegen diese Auffassung gewendet haben, gegen die Ausblasungstheorie, wie wir die Brancosche Lehre nach dem Vorgange von Felix und Lenk von nun ab nennen wollen, war der durch seine schönen Darstellungen der Vulkane auf den Äolischen Inseln rühmlichst bekannt gewordene Klausthaler Geologe Bergeat. In seiner Abhandlung über dieses Thema berührt er naturgemäß auch die Frage vom Vorhandensein oder Nichtvorhandensein vulkanischer Spalten und spricht bei diesem Anlaß auch den sehr bemerkenswerten und ehrlichen Satz aus: „Wenn wir uns nicht selbst täuschen sollen, müssen wir zugeben, daß auf keinem Felde der Geologie bisher so geringe Fortschritte gemacht worden sind, wie

in der Erkenntnis dessen, was weiter als etwa zwei Kilometer unter unseren Füßen liegt." Das sind Worte, die jeder unterschreiben muß, der es mit der geologischen Wissenschaft ehrlich meint, ein Bekenntnis, das, wenn es zuweilen besser beherzigt würde, viel dazu beitragen könnte, den Kirchhof im Buche der Geologie, unter dessen Kreuzen ihre vielen toten und totgeborenen Hypothesen den wohlverdienten Schlaf schlummern, wesentlich zu verkleinern.

Zuerst hebt Bergeat hervor, daß bis heute keiner der Gegner der Spaltentheorie das öftere Gebundensein der Vulkane an tektonische Störungsgebiete geleugnet hat, und daß die Beziehungen zwischen diesen (in der Gestalt von Schollenverschiebungen, Aufstau von Faltengebirgen u. s. f.) und dem Hervortreten des Magmas unbestreitbare sind, daß beide zueinander in genetische Abhängigkeit gebracht werden müssen und seit langer Zeit gebracht werden. Und mit Recht! Denn der Beweis eines solchen Zusammenhangs ist in vielen Gegenden tatsächlich erbracht worden, in anderen wiederum freilich gelang es nicht, solche an der Erdoberfläche sichtbaren Beziehungen zu konstatieren.

Nun ist es, so fährt Bergeat fort, ja eigentlich auch gar nicht notwendig, daß alle in der Erdfeste aufklaffenden Spalten und Risse sich bis zur Ober-

fläche hin verfolgen lassen. Mit anderen Worten: es können Spalten vorhanden sein, die nicht bis zur Oberfläche reichen, leiten wir doch unsere Vorstellungen über den Bau der vielen Kilometer dicken Erdkruste von unseren immerhin nur dürftigen, bis zu 2000 Meter Tiefe reichenden Kenntnissen ab! Aber schon die Grubenprofile mancher genauer bekannten Kohlengruben sollten uns darüber belehren, daß die Tektonik der Tiefe eine sehr komplizierte sein kann. Und der Beweis, daß jede von der Tiefe her aufgerissene Kluft auch wirklich bis zur Oberfläche reicht, dürfte schwer zu führen sein.

„Lassen wir," sagt der große österreichische Geologe Süß einmal, „einen Beobachter zur näheren Betrachtung der Schichtstellung in den einzelnen Gebirgsketten seinen Fuß auf den grünen Rasen unserer Erde setzen. Er wandert über Berg und Tal, aber er sieht nur gar wenig von den gewaltigen Bewegungen, an welchen viele Teile der Erdoberfläche teilgenommen haben. Die Höhen sind abgewittert und abgewaschen, die Niederungen verschlämmt und versandet. Große Gebirgszüge sind niedergehobelt zu Hügelland oder gar zu Platten, Bruchflächen, an welchen sich Verschiebungen von Gebirgsschollen gegeneinander im Ausmaße von vielen Tausenden von Fußen vollzogen haben, sind dem

Auge so vollständig entzogen, daß sie nur zufällig durch unterirdische Arbeiten überhaupt bekannt werden. Die Verwerfung im Tunnel von Fuveau bei Marseille, welche etwa 1200 Meter beträgt und den Muschelkalk mit viel jüngeren Schichten in Berührung bringt, ist zu Tage gar nicht bekannt gewesen."

Was ist denn aber unter einer solchen Spalte zu verstehen? Jedenfalls kein gewaltiger Riß in der Erdrinde, der offen ist und bis in die großen Tiefen hinabreicht, welche Magma eingekerkert hält! Darum werden alle Geologen mit Stübel übereinstimmen, wenn dieser bestreitet, „daß sich längs der südamerikanischen Küste eine einzige, ununterbrochene, klaffende Vulkanspalte von etwa 6000 Kilometer Länge hinzieht, daß in dieselbe das Meerwasser eindringen und die vulkanischen Eruptionen bewirken soll." Nach deutschem Sprachgebrauch verbindet sich mit dem Ausdruck „Spalte" notwendigerweise die Vorstellung einer linearen, klaffenden Öffnung, sagen Felix und Lenk. Aus diesem Grunde dürfte es richtiger sein, diese Bezeichnung nur dann zu gebrauchen, wenn dieselbe auch in dem besagten Sinne angewandt werden kann, so etwa da, wo es sich um Spalten handelt, die bei Erdbeben aufgerissen wurden, Erscheinungen, die das

Aufklaffen meist in prägnantester Weise erkennen lassen. Da jedoch, wo ein derartiges Auseinandertreten der Ränder am Risse nicht beobachtet werden kann, dürften die Ausdrücke Bruchlinie, tektonische Linie, Sutur besser am Platze sein. „Dabei ist das gleichzeitige Vorhandensein von Verwerfungen keineswegs notwendig, wenngleich dieses Phänomen allerdings in den häufigsten Fällen mit Brüchen verknüpft ist, ja diese im allgemeinen erst deutlich in Erscheinung treten läßt."

Bereits Löwl hat, wie wir weiter oben gesehen haben, darauf aufmerksam gemacht, daß vulkanische Ergüsse sich sehr oft nicht auf der eigentlichen Bruchlinie betätigt haben, sondern in der Nähe derselben auftreten. Wir erinnern an das von dem Genannten hierfür angezogene Beispiel vom Vorkommen der Basaltdecken am südlichen Steilabsturze des Erzgebirges. Auch Bergeat kommt auf diese Tatsachen zurück und hat sich gefragt: „Warum ruhen so häufig längs ausgesprochener Bruchlinien die Vulkane nicht dem Hauptverwerfer (also der Bruchlinie selbst) auf, sondern sind sie dem eigentlichen Bruchrand vorgeschoben?" „Spalten, auf denen große Verschiebungen stattgefunden haben," das ist seine Antwort auf das Problem, „und die erst durch die Auslösung solcher Spannungen entstanden, welche nur durch Brüche ge-

hoben werden konnten, dürften überhaupt nur selten weit offen gestanden haben; der Druck der gegeneinander gepreßten Schollen hat sie gleich nach ihrem Aufklaffen geschlossen gehalten." Daher denn auch die Hauptbruchlinie nur wenig Bedeutung für die Magmaförderung gehabt haben kann, während durch jeden mächtigen Spannungsausgleich in der Erdkruste die der Bruchlinie zunächst befindlichen Teile derselben, die benachbarten Schollen, einer Zerrüttung unterliegen mußten. Diese hatte das Aufreißen einer Anzahl mehr oder weniger im gleichen Sinne wie die Hauptbruchlinie verlaufender Klüfte zur Folge, deren Hinaufreichen an die Oberfläche durchaus kein absolutes Erfordernis ist, die sogar lange Zeit offen stehen und sich auch noch ruckweise erweitern können. Einen Beweis für diese Anschauung findet Bergeat in den Erzgängen; das sind derartige klaffende Risse, also Spalten im Sinne von Felix und Lenk, und auch die unzweifelhaften Anzeichen für eine nachfolgende allmähliche Erweiterung dieser Spalten sind vorhanden, die Kokarden- und Breccienstruktur vieler dieser Erscheinungen. „Jedem, der nicht auf seiten der Lateralsekretionstheorie steht, bieten diese bis in große Tiefen verfolgte Spalten den Beweis, daß der Gebirgsdruck durchaus nicht die Spalten zu schließen braucht, wie Löwl und andere angenommen haben."

Wir würden zu diesen soeben vorgetragenen Worten von Bergeat unsererseits noch hinzufügen: Jeder, der die Lateralsekretion nicht für die einzig und allein mögliche Ursache der Erzgängeentstehung hält, wird dieser Meinung sein, zumal zweifellos sehr viele Erzgänge mit dem Vulkanismus in verwandtem Zusammenhange stehen. Auch sie liegen vielfach nachweisbar in Zerrüttungszonen und parallel zu den Hauptbruchlinien, und nur in seltenen Fällen auf diesen letzteren selbst.

Die von Feuerbergen bestandenen Küstenstriche des Pacific, die klassischen Gebiete des Vulkanismus, sind weit ins Land hineinreichende Zerrüttungszonen. Junge Faltengebirge fassen den Stillen Ozean ein, während die atlantischen und indischen Ränder von abgebrochenen Schollen begleitet werden. In diesen Meeresarealen machen Westindien und Hinterindien eine Ausnahme im pazifischen Sinne und sind, wie der pazifische Rand, durch lange Vulkanreihen ausgezeichnet. „Der pazifische Randtypus aber fördert den Vulkanismus, der atlantische hemmt ihn," wie das neuerdings von Supan betont worden ist.

Auch Südamerikas Vulkane treten auf einer Zerrüttungszone auf, die sich längs der pazifischen Küstenlinie dieses Kontinents gebildet hat, und es wird kaum jemand behaupten wollen, daß diese Feuerberge



Der Castle-Geysir in Eruption. (Nach einer Photographie.)

oder auch die an dem asiatischen Gestade des Stillen Ozeans sich hinziehenden einer in diesen Gegenden verlaufenden Spalte aufsitzen. Wenn man von südamerikanischen oder von mexikanischen „Vulkanspalten“ gesprochen hat, so hat man darunter die Summe einer Unzahl unter sich mehr oder weniger im gleichmäßigen Sinne die Erdrinde zerreißender tektonischer oder Bruchlinien verstanden, „die alle, gerade so, wie z. B. die bolivianischen Erzgänge, einer wichtigen durch den Verlauf der amerikanischen Westküste gekennzeichneten Störungslinie gleichlaufen.“ Es ist unmöglich, den Zusammenhang zwischen den gewaltigen Feuerschlünden, die das weite Becken des Stillen Ozeans umsäumen, und dieser, ein großes Senkungsgebiet darstellenden ozeanischen Depression auf unserem Planeten nicht gelten lassen zu wollen. Legt man bezüglich der in der Gegenwart tätigen Vulkane die Berechnungen von Fuchs zugrunde, so würden zur Zeit 325 Feuerberge aktiv sein, eine Zahl, die aber eher viel zu niedrig, als zu hoch angesetzt ist. Von diesen 325 feuerspeienden Bergen kommen allein 240 auf das Gebiet des Stillen Ozeans, und zwar 102 auf den asiatischen und 113 auf den amerikanischen Erdteil, während weitere 25 im Pacific selbst vorhanden sind. Mit vollem Recht durfte deshalb Supan in neuerer Zeit wiederum aus-

drücklich hervorheben, „daß die pazifische Welt in der Gegenwart der Hauptsitz der vulkanischen Tätigkeit ist.“

Geotektonische Störungen lassen sich nicht immer ganz leicht nachweisen, und auch da, wo solche im Bau der Erdoberfläche deutlich zutage treten und nicht etwa nicht bis zur Erdoberfläche reichen, ist es bisweilen recht schwer und eine mühsame Aufgabe, deren Verlauf festzustellen. In den ungeheuren Gebieten von Südamerika, die für unsere Ausführungen in Betracht kommen, sind nun bisher geologische Detailforschungen — und nur derartige genaue Arbeiten setzen uns in die Lage, einen Einblick in den tektonischen Aufbau eines bestimmten Areals tun und die nötigen Schlüsse daraus ziehen zu können — überhaupt nicht oder nur in so geringem Umfang vorgenommen worden, daß wir nicht berechtigt sind, über die zwischen den dortigen Vulkanen und der Tektonik ihres Untergrundes bestehenden oder vielleicht auch nicht bestehenden Zusammenhänge ein definitives Urteil abzugeben. Jedenfalls keines, das Folgerungen von so weittragender Wichtigkeit und Bedeutung für eine der Kardinalfragen der dynamischen Geologie nach sich ziehen müßte, wie von Stübels seiten geschehen. „Weite Strecken sind dort von älteren vulkanischen Massen bedeckt, deren Ursprungsort man nicht einmal genau kennt,

die aber sicherlich auch die Tektonik des Untergrundes weithin unsichtbar gemacht haben," sagt Bergeat in einer gegen diese Stübelsche Anschauung gerichteten Streitschrift, und seinen ferneren Worten: „Nach meiner Ansicht können also die südamerikanischen Vulkangebiete vorläufig für die exakte Lösung der Frage nach den Ursachen der Vulkanverteilung gar nicht in Betracht kommen," können wir unsere Zustimmung nicht vorenthalten.

Aber nicht nur die Vulkanlinie von Südamerika müßte aus der Reihe der Argumente ausscheiden, die der Ausblasungstheorie zur Stütze dienen, auch für die Diatremen der Karoo in Südafrika scheint dieses endgiltig der Fall sein zu sollen. Ihren absolut sicheren vulkanischen Charakter hat ja auch Branco nicht aufrecht erhalten, wie wir schon weiter oben gesehen haben. Nach den Ausführungen des Breslauer Geologen Gürich, der diese Dinge aus eigener Anschauung kennen gelernt hat, sind die diamantführenden Schlote wohl zweifellos vulkanischer Natur, und nicht, wie Chaper das will, durch explodierende Kohlenwasserstoffe entstanden. Ferner aber deutet die Verbreitung der Diatremen auf einer Linie SSO.—NNW. auf tektonische Vorgänge hin, „als die erste Ursache der Spannungsauslösung." Durch das Offenwerden der Bruchspalte konnte Wasser bis zu den vom Magma

erfüllten Räumen vordringen, und dieselben Umstände bewirkten auch die Entstehung von Minima der Widerstandsfähigkeit in der Erdkruste.

Wenn wir nun das Material sichten und die Gründe gewissenhaft gegeneinander abwägen wollen, welche für und wider die Präexistenz einer Spalte bei den Vulkanen beigebracht worden sind, wenn wir das Vorgesagte noch einmal rekapitulieren, so ergibt sich folgendes:

Mit Bezug auf die britischen Inseln hat Geikie festgestellt, daß

1. bei einer großen Anzahl von Vulkanschloten aus allen geologischen Perioden keine Spur eines Zusammenhanges dieser Gebilde mit irgend einer Spalte in der Erdkruste nachzuweisen sei, wenn auch die Möglichkeit des Bestehens solcher Klüfte im Untergrunde zugegeben werden müsse, welche der aufsteigenden Lava bis zu einer größeren oder kleineren Entfernung von der Erdoberfläche gedient haben. Bei den nach dem Vesuvtypus aufgebauten Feuerbergen ist das Vorhandensein einer solchen Bruchlinie nach der allgemeinen Annahme zwar eine nötige Voraussetzung, diese Störung braucht aber darum doch nicht immer sichtbar zu sein.

2. Darüber jedoch, daß vulkanische Kraft die Röhren für das aufsteigende Magma, resp. für die diesem letzteren entströmenden Gasmassen **durch den oberen Teil der Erdrinde** hindurch selbst auszublasen vermag, kann kein Zweifel bestehen. Die Ausbruchskanäle der zum Puytypus gehörigen vulkanischen Schlote sind wohl ganz allgemein auf derartige Weise entstanden.

Der energische Vorkämpfer für die Ausblasungstheorie, Branco, hat seinen Standpunkt in dieser Angelegenheit neuerdings dahin formuliert, daß es ein Irrtum sei, wenn die herrschende Lehre die Möglichkeit der Eruptionen abhängig mache von dem vorherigen Dasein von Spalten, also den Vulkanismus in bedingungslose Abhängigkeit von den gebirgsbildenden Vorgängen bringe und denselben immer nur als deren Nebenprodukt hinstelle. Es ist Tatsache, daß Schmelzfluß auch unabhängig von solchen Spalten sich selbst den Ausweg durch die Erdrinde zu bahnen vermag. Die wirkende Kraft sind offenbar explodierende Gase, die vielleicht mit Zuhilfenahme feiner Haarspalten, an denen sie eine Ansatzstelle haben, wirken; zumal an Orten, an denen der

Schmelzfluß in nicht zu großer Entfernung unter der Erdoberfläche stehen mag und auf genügende Wassermassen trifft, deren Explosion dann seine Selbstbefreiung bewirken.

Immerhin, und das ist schon früher von Branco hervorgehoben worden, ist es schwer zu begreifen, daß explodierende Gase eine solche ungeheure Gewalt besitzen sollen, um Röhren durch 3,4 und mehr Meilen dicke Gesteinsschichten hindurchzublasen. Nimmt man für das Maargebiet von Urach den für das Bohrloch von Neuffen ermittelten und von Branco korrigierten Wert von 11 Meter als geothermische Tiefenstufe an, so müßte an dieser Stelle eine mindestens 11000 Meter mächtige Gesteinslast auf dem Magma ruhen. Denn 11 Kilometer Tiefe wären, unter Voraussetzung einer Konstanz dieses geothermischen Tiefenstufenwertes auch über die beobachtete Tiefe hinaus, erforderlich, um eine Temperatur von etwa 1000° C. zu erhalten, die man doch wohl als das äußerste Minimum für das Magma annehmen müßte. Die Ausbruchsröhren sind hier aber doch nur bis zu einer Tiefe von 800 Meter verfolgt worden.

Gegen den Einwurf, daß in Wirklichkeit doch Spalten vorhanden, aber unsichtbar sein könnten, wahrt sich Branco in entschiedener Weise. Im Maargebiete von Urach, in der Rhön und in Schottland (Necks) sind keine präexistierenden Spalten vorhanden. Das ist seiner Ansicht nach die einzige Wahrscheinlichkeit, die anzunehmen bei genauer Erwägung der Sachlage übrig bleiben dürfte.

Gewiß, meint der Berliner Geologe ferner, wird sich die Zahl der vulkanischen Vorkommen auf Erden, an denen man keine präexistierende Spalte als Ursache ihrer Bildung nachweisen kann, noch unausgesetzt vermehren. Während aber jetzt die herrschende Lehrmeinung verlangt, daß auch überall da, wo keine vorher dagewesenen Spalten sich nachweisen lassen, das Vorhandensein der letzteren, weil Glaubenssatz, als selbstverständlich anzunehmen sei, wird man schließlich einmal, die Sache umkehrend, die Forderung aufstellen müssen, daß man an den Vulkanen erst die Spalten nachzuweisen habe, bevor man von letzteren als etwas in allen Fällen zweifellos Vorhandenem sprechen darf. Mindestens aber bei denjenigen Feuerbergen, bei denen Gründe, das Dasein von Spalten zu bezweifeln, vorliegen.

Und auch der schon früher (S. 80) von uns angezogene Ausspruch wird wiederholt betont, nämlich, daß es keineswegs richtig sei, überall da, wo Vulkan und Spalte in Verbindung miteinander auftreten, den ersteren für die jüngere, die letztere für die ältere Bildung anzusehen. Denn es kann theoretisch eine Spalte sehr wohl jünger sein, als der Vulkan, auch wenn sie dessen Gebiet durchsetzt. Bei tertiären oder Feuerbergen der Gegenwart sogar wäre dieser Fall möglich, weil auch in der Jetztzeit noch Spalten entstehen und solche in der Tertiärperiode sicherlich entstanden sind, bei solchen von höherem geologischen Alter aber muß eine solche Möglichkeit noch sehr an Wahrscheinlichkeit gewinnen. Wenn die Lehre von der fortdauernden Kontraktion unseres Erdballs ihre Herrschaft bewahren sollte, dann wird vollends bei vielen Vulkanen die Unabhängigkeit von präexistierenden Spalten erkannt werden, weil eine aufgerissene Spalte bei dem starken, im Kugelgewölbe der Erdrinde vorhandenen Seitendruck nicht offen bleiben kann, und weil die Gesteine in größeren Tiefen durch die zunehmende Erdwärme erweicht sein müssen. Nur da, wo Spalten durch Auseinanderzerrung aufreißen, wo also das Gegenteil von Seitendruck herrscht, sind offen bleibende, dem Magma den Austritt gestattende Klüfte möglich.

Schmelzfluß könnte auch dann aus eigener Kraft in der Ausbruchsröhre aufsteigen, wenigstens zum Teil, wenn die Stübelsche Lehre von der Ausdehnung des glutflüssigen Gesteinsbreies in einem gewissen Stadium seiner Erstarrung richtig ist.

Von Gegnern der Ausblasungstheorie kann man eigentlich nur reden, wenn es sich um eine Verallgemeinerung dieser Lehre handelt. Denn daß das Magma, oder sagen wir lieber, daß in erster Linie die aus den Fesseln der glutigen Materie sich befreienden Gase imstande sind, sich den letzten — und wir möchten hinzufügen, jedenfalls kleineren — Teil ihres bis zur Erdoberfläche zurückzulegenden Weges aus den Gesteinsmassen, die ihnen dabei hinderlich sind, selbst herauszublasen, sich also das obere Stück ihrer Ausbruchskanäle ganz selbsttätig zu schaffen, das wird eigentlich nicht bestritten. Das scheint eine Tatsache zu sein, in deren Feststellung allein schon ein großes wissenschaftliches Verdienst von Branco und Geikie besteht. Inwieweit hier feine Haarspalten, der Beobachtung sich entziehende Zerklüftungserscheinungen der durchschossenen Gesteine und andere ähnliche Dinge dem empordringenden Magma und seinen gasförmigen Bestandteilen zu Hilfe kommen, kann, weil nicht bekannt, wenn es auch wohl vermutet werden darf, dabei nicht in Anschlag

gebracht werden. Allerdings sind in neuerer Zeit einige, wenn auch sehr leise Zweifel darüber laut geworden, ob denn auch die schottischen Tuffröhren insgesamt nur vertikale Ausblasungskanäle und nicht vielleicht teilweise erweiterte Spalten darstellen dürften.

Zieht man aber in Betracht, daß in allen Fällen, in denen Ausblasung zweifellos in Frage kommt, die eruptive Gewalt keine intensive gewesen ist, daß sich ihre Kräfte rasch erschöpften und es nicht zum Hervorbrechen größerer magmatischer Ergüsse kommen ließen, daß sie über das Anfangsstadium ihrer Tätigkeit also nicht hinausgekommen sind, „während die in Dislokationsgebieten auftretenden Vulkane unverhältnismäßig größere Auswurfsmassen während langandauernder Eruptionsperioden produzieren, so erscheint es doch recht bedenklich, das erstere als die Norm für den Beginn der Vulkanbildung hinstellen und dem Zusammentreffen von Dislokationen und intensiverer Vulkantätigkeit jede allgemeinere Bedeutung absprechen zu wollen“ (Felix und Lenk).

Von einem Gegner der verallgemeinerten Ausblasungstheorie, von Bergeat, ist sogar der Versuch gemacht worden, eine Erklärung für die durchschlagende und ausblasende Gewalt der hervorbrechenden Gase da, wo diese tatsächlich auch ihre Röhren aus dem

Gestein herausgeschossen haben, zu finden und damit auch über die von Branco selbst zugestandenen Schwierigkeiten hinwegzuhelfen. Wir könnten uns, meint der Erforscher der äolischen Inseln, vielleicht vorstellen, daß das Magma, vom Uranfang der Erde an beladen mit Gasen, welche es während der Kondensation des Dampfballs absorbierte, in den verhältnismäßig engen Spalten sich abkühlte, zu irgend einem Tiefengestein erstarrte, während die sich abscheidenden Gase mehr und mehr in den durch die Kristallisation und Kontraktion entstehenden Hohlräumen zu höchster Spannung komprimiert wurden. Rechnerisch läßt sich der Vorgang nicht verfolgen, da bisher noch keine Kenntnis über die Menge des im Magma gelösten Gases vorliegen.

Die Tatsachen ferner, daß für eine große Anzahl von Feuerbergen auf unserem Planeten ein Zusammenhang mit tektonischen Ursachen nach unserem gegenwärtigen Stand des Wissens außer aller Frage ist, erweckt starke und unüberwindliche Bedenken gegen jede Verallgemeinerung der Ausblasungslehre. Die schönen und geistvollen Untersuchungen Bergeats auf den Liparen lassen wohl kaum einen Zweifel darüber aufkommen, daß die äolischen Vulkane über einem System von Spalten liegen, „gleichgiltig, ob dieselben nach oben geöffnet oder geschlossen sind," über einer

Zerrüttungszone von dreistrahliger Gestalt, und daß die Vulkanbildung an den Kreuzungspunkten der Zerrüttungslinien am stärksten aufgetreten ist, daß ferner ein Konnex dieser zerrütteten Zone mit der Tektonik des benachbarten italienischen und des nordafrikanischen Gebirgszuges vorhanden ist. Und „mindestens der Ätna, wenn nicht auch der Vesuv, dürften genetisch zu den Liparen in engster Beziehung stehen.“ Und das, was Bergeat für die äolischen Inseln nachzuweisen vermochte, das ist von anderen Gelehrten, und in nicht weniger überzeugender Weise in weiteren Gebieten unserer Erde dargetan worden. Es ginge hier zu weit, diese Tatsachen alle einzeln anzuführen, und wir müssen uns auf einige wenige Beispiele dafür beschränken, so auf die Forschungen von Sapper in Zentralamerika, auf Haradas Studien an den Vulkanen seiner Heimat Japan u. s. f. „Der Vulkanismus ist eine Folgeerscheinung der Gebirgsbildung,“ das hat der bekannte Geograph Ratzel vor wenigen Monaten ausdrücklich betont. „Wo bei der Aufrichtung der Faltengebirge der Zusammenhang des Erdbaues gelockert oder zerrissen wurde, sind Glutmassen emporgestiegen und ausgetreten.“ Und ein anderer, Supan, hat in den Tagen, in denen wir diese Zeilen niederschrieben, sich dahin geäußert, daß, wenn wir auch darauf verzichten wollen, Vulkane durch hypothetische

Spalten miteinander zu verbinden, ohne übrigens deren Möglichkeit zu bestreiten, die Tatsache der eigentümlichen geographischen Verbreitung der Feuerberge dennoch bestehen bleibt und eine Erklärung fordert. Diese finden wir darin, daß das Magma dort aufsteigt, wo es den geringsten Widerstand findet, in der Regel also dort, wo durch Dislokation das Gefüge der Erdkruste zerrüttet ist. In Arealen, deren Schichten niemals gestört worden sind, wie beispielsweise die weite russische Ebene, oder da, wo, wie an den arktischen Küsten, junge Tiefländer allmählich in das Meer verlaufen, da fehlen die Vulkane. Ebenso sind sie in älteren dislozierten Gebieten, in welchen die in ihrem Felsgerüst vormals aufgerissenen Wunden meist schon vernarbt sind, seltener.

In einer seiner jüngsten und durch ihre schwungvolle Sprache ausgezeichneten Abhandlungen hat Branco einmal die wissenschaftlichen Hypothesen mit den Schwingungen des Pendels verglichen, das, wenn es zu weit nach links gestiegen ist, auch zu weit nach rechts steigt. So schießen auch, sagt er, unsere Hypothesen gar zu leicht über die Gleichgewichtslage hinaus. Man kann auch noch andere Vergleiche auf unsere Theorien anwenden, so etwa das Spiel, welches die Wellen der bewegten See mit den Sandkörnern, die sie ans Ufer bringen, zu treiben pflegen. Eine jede bringt eine

Anzahl dieser Sandteilchen ans Land, schon die nächstfolgende jedoch nimmt bei ihrem Zurückweichen den größten Teil der Körnchen wieder mit, zuweilen auch alle, und wenn etwas davon liegen bleibt, so ist es nur ganz wenig. Da fast jede Welle etwas hinzubringt, so vermehrt sich im Laufe der Zeit die Zahl der Sandpartikelchen, und nach und nach wird ein kleines Häufchen, dann ein größerer Haufen, schließlich eine förmliche Sandbank entstehen. Genau so ist es mit unseren Vermutungen und hypothetischen Lehren. Sie sind dem am Ufer sich brechenden Wellen vergleichbar, deren etliche ganz allmählich und unbeachtet im Sande verlaufen, während wiederum andere unter großem Getöse und Schwall ans Gestade prallen. Und die letztere Art ist es nicht, welche die meisten Sandkörner liegen läßt. Diese aber stellen die Tatsachen oder Voraussetzungen dar, welche die neue Lehre stützen sollen. Nur die nicht mehr in die Fluten zurückgerissenen Sandkörner bringen der Wissenschaft Nutzen und Gewinn, die wieder fortgeschwemmten kommen aber nicht in Betracht für die zu schaffende Sandbank. Es sind die unhaltbaren Sätze der jungen Theorie. Die Sandbank aber, das ist die objektive Wahrheit, die im Verlaufe der Zeiten größer und größer werden wird. Das wenigstens ist das Ziel unserer Arbeit, die Hoffnung, welche unser Forschen neu belebt, wenn

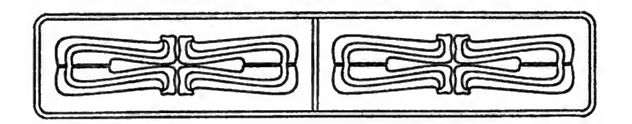
uns bei dem so gar langsamen Anwachsen des noch recht winzigen Häuflein Sandes eine gewisse Mutlosigkeit erfassen will und ein „Ignorabitis“ zurufen möchte!

Wieviel nun von der Ausblasungstheorie und von den gegnerischen Ansichten und Lehrsätzen wird den Wandel der Zeiten überdauern? Die Zukunft mag's lehren! Aus dem Widerstreit der Meinungen aber, aus dem Kampf der Geister um das Sein oder Nichtsein der vulkanischen Spalte scheint vorderhand als zweifellose Tatsache hervorzugehen, daß vulkanische Kraft sich innerhalb der Gesteinshülle unseres Planeten bald minder, bald mehr gewalttätig zu äußern vermag. Insofern, als die glutige Materie entweder schon vorhandene Risse in der Erdfeste zu ihrem Aufsteigen benützen oder solche sich selbst bahnen kann. An diese letztere Möglichkeit ist aber dann stets die Annahme eines in nur verhältnismäßig geringer Tiefe vorhandenen Magmaherdes gebunden, und auf dieses Erfordernis wird auch von Branco besonderes Gewicht gelegt. Es wird unter anderem die Aufgabe der folgenden Abschnitte sein, zu zeigen, wie versucht wurde, beide Dinge miteinander in Einklang zu bringen.

Schwer fällt gegenüber diesen auf Grund unseres gegenwärtigen Wissensstandpunktes doch nur den geringeren Teil darstellenden ausgeblasenen Feuerschloten die ungemein große Anzahl derjenigen Vulkane ins Ge-

wicht, die unabweisbar mit Störungen im Felsgerüst der Erde vergesellschaftet sind. Zugeben müssen wir allerdings immer, daß sich ja die Zahl der ausgeblasenen Vulkanröhren durch fortgesetzte Untersuchungen immer noch vermehren mag, offen lassen müssen wir die Möglichkeit für die Anhänger der verallgemeinerten Ausblasungslehre, im Verlauf der Tage noch manche andere Vorkommen beweiskräftig für ihre Ansicht ins Feld führen zu können.

Die Sandkörner jedoch, so will uns bedünken, die zum Aufbau dieser Sandbank objektiver Wahrheit notwendig sind, liegen vorderhand zum größeren Teile noch auf dem Meeresgrunde, und die Wellen haben sie bisher noch nicht ans Land gespült.



Dritter Abschnitt.

Der Mechanismus des Vulkans.

a) Die treibende Kraft.

Allgemeines. Das Wasser als aktives Moment im Vulkanismus. Delamethrie und Werner. Anschauungen von Bergmann, Breislack und Humphry Davy. Von der möglichen Herkunft des Wassers in den Vulkanen. Die marine Provenienz desselben. Ansichten dafür und dawider. Die Möglichkeit der Infiltration von süßem Wasser in das Magma. Die Emanationstheorie. Vadoses und juveniles Wasser. Der Zutrag aus der Tiefe. Andere vadose und juvenile Substanzen. Beweise für die Emanationstheorie. Die verschiedenen Phasen vulkanischer Tätigkeit. Zeitliche und örtliche Reihenfolge in den Emanationen der Vulkane. Fumarolen. Die Zinnerzlagerstätten und ihre Begleiterscheinungen im Erzgebirge, und ihre Beziehungen zur Thermalspalte Nordböhmens. Die Exhalationen der Solfatara von Vulcano. Graphitlagerstätten, entstanden durch Ausscheiden von im Magma ursprünglich enthalten gewesenem Kohlenstoff

Was ist es nun, das glühende Dampf- und Aschenwolken aus den Schlünden der Vulkane schleudert, viele tausend Meter hinauf in die Atmosphäre, und unter Toben, Poltern und Donnern, daß man das unheimliche Geräusch zuweilen Hunderte von Kilo-

metern weit vernehmen kann? Was ist es, das heiße Gasmassen aushaucht und dieselben mit Blitzesschnelle hinwegtreibt über große Areale, alles Lebendige, was darauf ist, in der Frist von nur wenigen Sekunden vernichtend? Was ist's, das die Flanken der Erde aufreißt und den glutigen Lavabrei aus ihren Eingeweiden herausströmen läßt, was türmt und schichtet in wenigen Tagen neue Berge auf und zermalmt wiederum andere im Zeitraum einiger Minuten zu Staub und Asche, oder läßt sie teilweise in die Tiefe versinken? Wie heißt die treibende Kraft, die das alles vermag?

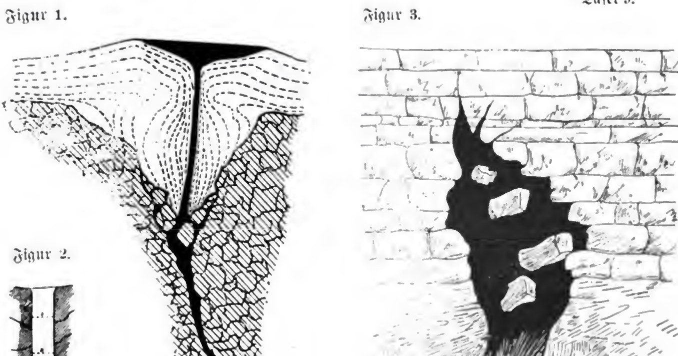
Thales von Milet, der Begründer der griechischen Philosophie, mag uns Antwort darauf geben. „Das Prinzip aller Dinge," so hat dieser Weise einmal gesagt, „ist Wasser; aus Wasser ist alles und in Wasser kehrt alles zurück." Wasser ist auch das Prinzip aller vulkanischen Dinge, die belebende Kraft dieser Erscheinungen. Ob der Mileter seinen Ausspruch auch darauf bezogen hat, ob er schon geahnt hat, was wir einige Jahrtausende später erst durch die Erfahrung kennen lernen durften, das mag dahingestellt bleiben. Ist doch nach Goethe alles Gescheite schon gedacht worden, und man muß nur versuchen, es noch einmal zu denken. Und Thales von Milet war doch einer der sieben Weisen!

Daß Wasser das aktive Moment, der Spiritus rector bei den Phänomenen des Vulkanismus sei, das ist wohl zum erstenmal von Spallanzani, dem Vater der Vulkanologie, genauer präzisiert worden, von demselben, der den Satz aufstellte, daß die Art und Weise, in denen die Mächte des Untergrundes sich äußerten, stets dieselben seien und stets auf denselben Ursachen beruhten, ganz einerlei, ob ihre Kraftentfaltung nur eine schwache oder eine starke und intensive sei. Spallanzanis Lehre hat indes geraume Zeit gebraucht, um zur Anerkennung zu gelangen, denn der in jenen Tagen übermächtige Neptunismus durfte und wollte derartige Ketzereien nicht aufkommen lassen, trotzdem auch bei diesen Wasser mit im Spiel war. Delamethrie und Werner hielten brennende Steinkohlenflötze für die Ursache der vulkanischen Kraftäußerung, Bergmann und Breislack wollten den Vulkanismus mit im Erdinnern entzündetem Bergöl erklären, der geistreiche von Hoff, Lister und noch andere mehr nahmen chemische Prozesse, durch welche Eisen, Schwefelkies und andere oxydierbare Körper zersetzt würden, als die einzig richtigen Faktoren für die Deutung der vulkanischen Erscheinungen an. Dadurch müßten entzündliche und expansible Stoffe erzeugt werden, deren Elastizität überall, wo man sie beobachten konnte, eine ungeheure Kraft zeige. Das ist

der Meinung der eben Genannten nach die Grundursache dieser gewaltigen Erscheinungen, und eine damit unmittelbar in Verbindung stehende fernere ist die Zersetzung des Wassers.

Humphry Davy, der berühmte englische Chemiker, hat die metallischen Basen der Alkalien und alkalischen Erden nachgewiesen und ist bei diesem Anlaß auf den Gedanken gekommen, daß ganz gewaltige Mengen dieser Metalle in unoxydiertem Zustande im Erdinnern aufgestapelt sein müßten. Zu diesen Anhäufungen hat das Wasser nun gelegentlich Zutritt, was die Entwicklung von Gasen, die Verbindung des im Wasser enthaltenen Sauerstoffs mit den Metallen und die Erzeugung einer großen Wärmemenge zur Folge hätte. Letztere würde durchaus genügen, um die Gesteine im Untergrunde umzuschmelzen und die glutigen Massen, die Ergüsse der Vulkane zu erzeugen. Als Davy späterhin gelegentlich eines Ausbruchs am Vesuv, dessen Zeuge er war, keinen Wasserstoff in den entweichenden Gasen entdecken konnte, kam er selbst allmählich zur Überzeugung von der Unhaltbarkeit seiner Ansicht. Nun tritt Wasserstoff bei allen vulkanischen Eruptionen auf Erden in größerer oder geringerer Menge aus den Feuerschloten heraus, er ist eines der häufigsten Gase dabei, und so ist es ein eigentümlicher Zufall ge-





Figur 1. Durchschnitt durch eine Geysirröhre des Yellowstone-Gebietes. (Nach Andreä.)
Figur 2. Zur Erklärung des Geysirphänomens. (Zu Seite 160.)
Figur 3. Zur Erläuterung der Ansicht Meuniers. (Zu Seite 176.)



Figur 4. Der Stromboli auf den Liparen. (Nach Photographie.)

wesen, der Davy hier einen Streich gespielt hat. Immerhin wäre auch ohne das die Davysche Theorie aus anderen chemischen Gründen nicht von Bestand gewesen, und es ist auch gar nicht annehmbar, daß so große Mengen der vorerwähnten Stoffe im Erdinnern angehäuft sein können. Nach Fouqués Berechnungen würden allein für einen stärkeren Ausbruch des Ätna 7 Millionen Kubikmeter Natrium nötig gewesen sein!

Auch zu elektromagnetischen Beziehungen zwischen der Sonne und der Erde hat man seine Zuflucht genommen, um eine Erklärung für die vulkanischen Erscheinungen auf unserem Planeten zu finden. Aber diese genügte ebenfalls in keiner Weise und war ebenso anfechtbar und nicht minder unhaltbar, wie die chemischen Theorien. Wasser kam bei diesen letzteren ja in Betracht, aber immer nur als zersetzendes, als chemisch wirkendes, nicht als physikalisches, als bewegendes und auftreibendes Agens. Hat doch auch Davy besonders darauf hingezeigt, daß der bloße Anblick der Säule weißen Dampfes, die dem Vulkanschlot entströme, aufwärts gehoben werde und sich zu dichten und schweren Wolken über dem Berge ansammle, um alsbald darauf als stromartiger Regen auf das umliegende Gelände niederzugehen, sofern die Wolken nicht vom Winde vertrieben würden, die Anwesenheit großer

Mengen Wassers unabweisbar dartun müsse. Die Rolle, welche nach unseren gegenwärtigen Anschauungen das Wasser bei den vulkanischen Phänomenen zu spielen berufen ist, ist nun der Hauptsache nach physikalischer Natur. Der Wasserdampf ist das elastische Fluidum, die Haupttriebfeder, welche eine im Ausbruch befindliche vulkanische Stelle entlädt.

Woher kommt aber dieses Wasser?

Angesichts des Umstandes, daß die allermeisten tätigen Feuerberge in der Nähe der Meere zu finden sind, lag die Antwort auf diese Frage nahe. Es ist Meerwasser, das aus irgendwelchen Ursachen, so durch das Aufreißen von Spalten am Grunde oder durch langsames Einsickern in den Erdboden, oder auch durch Höhlungen im Felsgerüst der Erde so tief in diese letztere eindringen kann, daß es auf glutige Gesteinsmassen trifft und durch Berührung mit diesen zur Explosion gebracht wird. Bei diesem Anlaß müssen Risse entstehen, oder alte bereits geschlossene Klüfte wieder erweitert werden, und das vom Wasserdampf getriebene Magma steigt auf ihnen in die Höhe.

Nach Alexander von Humboldt soll bereits der römische Schriftsteller Pompejus Trogus, ein Zeitgenosse des Livius und Verfasser sehr verschiedener Bücher, darunter auch einiger naturwissenschaft-

lichen Inhalts, Beziehungen zwischen eingedrungenem Meerwasser und vulkanischen Ausbrüchen betont haben. Leopold von Buch ist für dieselben eingetreten, von Hoff, Bischof und viele andere Geologen haben sie ausdrücklich betont, und auch in der Gegenwart hält diese Lehre noch vor. Alexander von Humboldt hingegen hat sich nicht in absolut bestimmter Weise dafür ausgesprochen, vielmehr die Möglichkeit, ob nicht auch in die Tiefen einsickerndes meteorisches Wasser hier in Betracht kommen müsse, offen gelassen. Ausschlaggebend dafür war ihm die Frage, ob denn nicht etwa bei verschiedener Tiefe des vulkanischen Herdes die Expansivkraft der erzeugten Dämpfe dem hydrostatischen Druck des Meeres das Gleichgewicht halten und darum auch den freien Zutritt des ozeanischen Wassers zum vulkanischen Behälter verhindern müsse. Ferner zog der Verfasser des Kosmos in Erwägung, ob denn die vielen metallhaltigen Chlorverbindungen und andere Substanzen, welche vom Vulkanschlot ausgehaucht werden, nur durch infiltriertes Meerwasser und nicht noch auf andere Weise sich erklären ließen, und ob schließlich die Ruhe der Vulkane von der Verstopfung der Kanäle abhängig sei, welche vorher die Meer- und Meteorwasser zugeführt hätten. Müsse nicht vielmehr der Mangel an Flammen und an freiem Wasserstoff mit der Annahme großer Mengen zersetzten Wassers

in offenbarem Widerspruch stehen? Das Bedenken vom fehlenden Hydrogen würde — wir haben das schon weiter oben betont — heutzutage hinfällig sein, und auch Flammenerscheinungen sind seither vielfach und in Menge beobachtet worden.

Zieht man nun weiter die Tatsache in Betracht, daß die von den Vulkanen geförderten gasigen Massen eben auch diejenigen sind, welche das Meerwasser gelöst enthält, und die aus der Zersetzung dieser Salze entstehen können, so die Salzsäure, das Chlornatrium, die Alkalien, so mußte die Annahme, das als Triebkraft bei den vulkanischen Kraftäußerungen wirkende Wasser stamme aus den Ozeanen, doch recht plausibel erscheinen, zumal ja die ganze Sache auf solche Art in durchaus ungezwungener und logisch erscheinender Weise sich erklären ließ. Nur wurde diese Anschauung insofern etwas modifiziert, als man von der Notwendigkeit eines plötzlichen Aufklaffens von Spalten am Meeresgrunde oder von größeren Ergüssen von Meerwasser in die magmatischen Behälter absehen zu dürfen meinte und den Vorgang durch langsames Einsickern dieses letzteren durch die festen Gesteinsschichten hindurch bis zur glutigen Materie erklären zu können glaubte. Ein gewaltsames und rasch erfolgendes Hineinstürzen des Meerwassers in solche präsumierte Klüfte hätte ja zur Folge haben müssen,

daß es sich nicht gehörig zu erwärmen vermochte und daher noch in ziemlich kaltem Zustand auf das Magma gestoßen, hier aber dann gezwungen worden wäre, zu explodieren, anstatt sich mit dem Glutbrei zu vermischen. Denn, wie Reyer das in geistvoller Weise ausgeführt hat, wenn kaltes Wasser während einer Eruption bei normalem Druck an der Erdoberfläche mit dem glühenden Eruptivbrei in Kontakt tritt, muß es sich im ersten Moment von diesem sondern und explodieren. Das mag in gewissen Fällen auch tatsächlich zutreffen, wenn sich infolge einer Eruption Dislokationen bilden, welche dem Meer- oder Grundwasser den Zutritt zur im Vulkanschlot aufsteigenden Lavasäule gestatten. Es ist aber dann doch nur eine Folge und nicht die Ursache des Ausbruchs selbst. Diese Erscheinungen vollziehen sich in nur geringen Tiefen, in denen also der Druck nicht in einem nennenswerten Maße von demjenigen an der Oberfläche herrschenden verschieden sein dürfte, in tieferen Regionen der Meeresräume ist aber aus vielen Gründen das Entstehen der zu solchen Explosionen führenden Dinge wohl so gut wie ausgeschlossen.

Anders, wenn das Meerwasser imstande ist, auf dem Wege kapillarer Wanderung zum Magma vorzudringen. Letzteres würde das bei zunehmender Tiefe natürlicherweise nur noch in Dampfform einsickernde oder,

richtiger gesagt, diffundierende Wasser zu absorbieren vermögen, und diese Absorptionsfähigkeit nähme proportional dem Drucke zu, solange letzterer sich noch in mäßigen Grenzen halten kann. Je höher der Druck aber steigt, um so weniger Gas kann absorbiert werden, und das Magma muß schließlich in einen Sättigungszustand gelangen. Wenn aber die Zufuhr von Gasen auch dann nicht aufhört, so sind sie gezwungen, vom Glutbrei abgesondert zu bleiben, und wird vollends der Druck hier so stark, um das Gas in den flüssigen Aggregatzustand überzuführen, so werden beide Flüssigkeiten abgesondert nebeneinander bestehen können. „Wasser," sagt Reyer, „welches bei der Schmelzhitze des Silbers sich zu dissoziieren beginnt (in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff zerfällt) und bei 2500° C. bei normalem Druck vollständig dissoziiert ist, würde 30 Kilometer unter der Erdoberfläche infolge der herrschenden Temperatur sich partiell zerlegen; der hohe Druck verhindert jedoch die dissoziierende Wirkung der Temperatur, und man dürfte demnach wohl in größeren Tiefen unseres Planeten durchgehends glühendes, nicht dissoziiertes Wasser antreffen."

Wird das Magma eruptiv, so müssen sich auch diese Verhältnisse ändern. Dann wird der Druck und die von diesem ausgeübte assoziierende Wirkung auf-

gehoben, und die dissoziierende Macht der hohen Temperatur kommt wieder zur vollen Geltung. Die Lösung wird zu Gas, und die Verbindung zerfällt in ihre Bestandteile, und erst in den kühleren Regionen des Vulkanschlotes kann ihre Wiedervereinigung, ihre Reassoziation stattfinden. Die gewaltigen Detonationen, welche die Eruptionen oft zu begleiten pflegen, können zum Teil durch diese Verbindung hervorgerufen werden; insbesondere muß hier die Wiedervereinigung von Sauerstoff und Wasserstoff wirksam sein.

Seitdem Daubrée, durch ein schönes und lehrreiches Experiment nachweisen konnte, daß Wasser trotz des ihm entgegenarbeitenden Gegendrucks sogar bei höherer Temperatur durch Gesteine hindurchzusickern vermag, hat die Annahme von einem langsamen Einsickern des Meerwassers in die Tiefe keine gewichtigeren Widersprüche mehr zu gewärtigen gehabt. Man hat sogar noch die weitere Behauptung aufgestellt, die Nachbarschaft der heißen magmatischen Massen müsse das Meerwasser geradezu zum kapillaren Eindringen in die Erdfeste zwingen. Ob, wenn das geschieht, das Sickerwasser nun gewissermaßen Tropfen für Tropfen dem Magma sich beigesellt, oder ob im Erdinnern vorhandene größere und geringere Hohlräume und Klüfte damit angefüllt werden,

darüber sind auch verschiedene Meinungen laut geworden. So hat Lyell, der große englische Geologe, die letztere vertreten — wir haben bereits früher einiges davon gesagt — und der Spannkraft des überhitzten Dampfes, der sich bei dieser innigen Berührung von Wasser und Feuer bilden müßte, nicht nur die Rolle des Auftriebs der vulkanischen Massen, sondern auch noch die viel bedeutendere zugestanden, die zu diesem Auftrieb nötigen Wege selbst zu schaffen, mit anderen Worten, die überlagernden Gesteinsschichten auseinanderzureißen.

Die soeben vorgetragene Lehre vom einsickernden Meereswasser, als der Grundursache der vulkanischen Erscheinungen, ist naturgemäß nicht ohne Einwürfe geblieben, deren gewichtigste wir hier etwas näher erörtern wollen. So ist mit sehr viel Recht entgegengehalten worden, daß die so oft und mit soviel Nachdruck hervorgehobenen nachbarlichen Beziehungen zwischen Vulkanen und Meeresbecken mit Rücksicht auf die Möglichkeit der Infiltration von Meerwasser bis zum glutigen Herde zuweilen doch recht weit hergeholte sind. Bei Feuerbergen wie der Vesuv oder der Ätna läßt sich eine derartige Möglichkeit gewißlich nicht bestreiten, wohl aber bei Vulkanen, die 100 und mehr Kilometer von der Küste entfernt liegen. Der Tolima und der Cotopaxi sind in

der Luftlinie 200 Kilometer weit vom Meere aufgebaut, der Antisana 230 Kilometer, der Sangay sogar 250 Kilometer. Letzterer ist aber in beständiger eruptiver Tätigkeit begriffen, und der Cotopaxi haucht Salzsäure, schwefelige Gase und alle die wichtigsten Substanzen, welche die europäischen Vulkane entströmen lassen, aus. Der Popocatepetl in Mexiko, der gleichfalls salzsaure Dämpfe von sich gibt, steht in 245 Kilometer Entfernung vom Meere, der Kilima Ndjaro 300 und der Kenia 500! Und die Feuerberge der Mandschurei, die noch im 18. Jahrhundert tätig gewesen sein sollen, erheben sich über 800 Kilometer von der Küste, der Kirungo südlich vom Albert Edward-See und der Teleki-Vulkan am Südende des Rudolfsees 1100, bezüglich 750 Kilometer vom Ozean! Auch der noch rauchende persische Vulkan Koh-i-tafdan, dem Ätna an Höhe gleichkommend, wurde 390 Kilometer weit vom Meere aufgeschüttet.

Sodann hat man eingewendet, daß das Vorkommen vieler der im Meerwasser gelösten Substanzen in den Emanationen der Vulkane kein Beweis für deren Provenienz aus infiltriertem Meerwasser sei. Diese Lehre kann, sagt Lapparent, wohl eine vom chemischen Standpunkte aus annehmbare Erklärung für das Vorhandensein der betreffenden Stoffe in den vom Vulkan ausgespieenen Erzeugnissen geben,

sonst aber nichts weiter. So wenig uns der Umstand, daß der menschliche Körper hauptsächlich aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff besteht, zu der Folgerung berechtigt, daß er diese Elemente der Luft entnimmt, die dieselben bekanntlichermaßen ja ebenfalls enthält, ebensowenig dürfen wir den Schluß ziehen, daß, weil die Gase der Vulkane auch im Meerwasser sich befinden, dieses mit den Feuerbergen in Beziehung gebracht werden müsse. Vollends aber nicht, wenn so gewichtige Dinge dagegen sprechen, wie hier. Wir meinen damit nicht nur etwa die eben herangezogenen großen Entfernungen vieler tätiger Vulkane von der Meeresküste, sondern noch andere Dinge. Von dem vorgenannten französischen Geologen wird nämlich noch weiter gegen die hier in Frage stehende Ansicht bemerkt, daß man sich das Zusammentreffen von Wassermengen mit dem Magma doch kaum anders als in der Dampfform vorzustellen vermöchte, und ist dem so, dann dürften diese Dämpfe doch die Salze nicht mehr enthalten, die sie im flüssigen Aggregatzustande gelöst fesseln konnten. Weitere Einwürfe, die sich nicht nur auf die Frage, ob die Triebkraft des Vulkanismus Meerwasser oder Süßwasser, sondern auch auf die weitere, ob es überhaupt infiltriertes Wasser ist, einerlei ob mariner oder anderer Herkunft, beziehen, werden wir noch

im folgenden kennen lernen. Wir sind der Anschauung, das auftreibende Agens der vulkanischen Erzeugnisse sei in der Spannkraft der durch Kontakt von Magma und Wasser entstandenen Dämpfe zu suchen, allerdings schon etwas näher getreten, aber nur immer soweit, als es zum Verständnis der Sache nötig war, und wir haben uns im weiteren noch einmal eingehender damit zu beschäftigen. Der Umstand, den wir unseren jetzigen Betrachtungen zugrunde legen, handelt vorderhand lediglich davon, ob überhaupt Wasserinfiltrationen von der Erdoberfläche aus bis zum Magma hinab möglich und erklärbar sind, oder nicht, sodann ferner, ob dieses Wasser durchaus Meerwasser sein muß, oder ob es auch eine anderweitige Herkunft haben kann. Das Wasser selbst ist ja vorhanden. Das lehrt uns die Erfahrung.

Die ozeanische Natur der vom Vulkan geförderten Wasserdämpfe, so haben wir gesehen, ist zwar angenommen, und wir können noch weiter sagen, allgemeiner angenommen worden. Mit welchem Rechte, das erhellt aus den ebenfalls schon angedeuteten Einwürfen gegen diese Lehre. Es kommen zu diesen noch andere hinzu. So hat in neuester Zeit Supan gegen die Möglichkeit infiltrierenden Meerwassers in die magmatischen Behälter angeführt, daß ausgedehnte Küstenstriche vulkanlos sind, daß also an einigen Stellen

des Planeten ein Einsickern der marinen Feuchtigkeit in seine Gesteinshülle zulässig wäre, an anderen aber wiederum nicht, eine gegnerische Meinung, die allerdings nicht so leicht aus dem Felde zu schlagen sein dürfte. Weniger glücklich dagegen dürfte die Einrede sein, daß der Meeresgrund überall, wo man ihn untersucht, aus einem so fein zermalmten kalkigen Schlamme bestünde, daß derselbe stets wie der beste Zementkitt alle Spalten unbedingt wasserdicht verschließen müsse. Der Urheber dieser Ansicht begeht zweierlei Fehler. Einmal, das ist schon weiter oben bemerkt worden, glaubt wohl kein vernünftiger Forscher der Gegenwart mehr an auf dem Meeresgrunde aufklaffende Spalten, welche dem Magma Wasser zuführen könnten. Unter gewissen Voraussetzungen wäre dies ja allerdings möglich — auch hier verweisen wir auf das darüber schön Geäußerte (S. 113) — und wir wiederholen, daß ein solches Phänomen dann aber nur die Folge, nicht die Ursache der Eruption sein könnte. Die Lehre von der Explosionskraft dieser Meerwasserdämpfe ist es aber ja eben, gegen welche der Mann ankämpfen will, der diese von uns bestrittenen Argumente aufgestellt hat. Zum zweiten aber ist die Behauptung, ein feiner kalkiger Schlamm mache den Meeresgrund wasserdicht und verkitte alle Spalten auf und in demselben, gelinde ausgesprochen, ein Unsinn.

Figur 1.

Die Beziehungen zwischen den Vulkanen und den Bruchlinien in der Erdfeste.

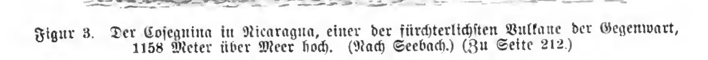
(Nach Lapparent.) (Zu Seite 177.)

Figur 2.

Die Größe einiger Vulkane im Verhältnis zu ihren Kraterbildungen.

1. Fusiyama in Japan.
2. Hverfjall auf Island.
3. Kratersee von Bracciano bei Rom.
4. Rocca Monfina bei Neapel.
5. Pic von Teneriffa.
6. Die aneinander gereihten Vulkankegel auf Vulkano in den Liparen.

(Nach Judd.) (Zu Seite 212.)



Figur 3. Der Cosegnina in Nicaragua, einer der fürchterlichsten Vulkane der Gegenwart, 1158 Meter über Meer hoch. (Nach Seebach.) (Zu Seite 212.)

Denn dieser Schlamm ist durchaus nicht überall vorhanden, zum wenigsten aber nicht in der Nähe der Küstenlinie; aber auch dann, wenn dies tatsächlich so wäre, wie es eben nicht ist, würde dieser Schlamm den Meeresboden nicht so wasserdicht abzuschließen imstande sein, als der phantasievolle und geologisch wohl nicht sehr gebildete Vater dieser Entgegnung zu glauben scheint. Denn es gibt auf unserem Planeten keine absolut wasserundurchlässigen Gesteine; mehr oder weniger sind alle von Feuchtigkeit durchtränkt, die — wir meinen hier nur die verfestigten Felsarten, nicht die noch im magmatischen Zustande befindlichen — nur durch Infiltration von der Erdoberfläche aus verursacht worden sein kann, eine Erscheinung, welche wir gleich im folgenden noch näher zu erörtern haben werden. Diese Grundbegriffe der Geologie ignoriert der Verfasser des Buches: „Die Entstehung der Erde“, offenbar, sei es, daß ihm dieselben unbekannt geblieben sind, sei es, daß er sie als quantité négligeable betrachtet, weil „pedantische Spezialforscher“ und „alte Universitätspyramiden“, gegen welche der „Uraniameyer“ gar zu gerne polemisiert, solche Tatsachen durch genaue Forschungen und exakte Arbeit festgestellt haben, und kein „dichterischer Kopf in seinem unendlichen Drange“ diese Dinge vorphantasiert hat! Gewiß, wir sind auch der Meinung, daß es nichts

schaden kann, wenn der Forscher etwas vom Schauen des Dichters in sich trägt, aber aus der Aufstellung von Behauptungen, welche den von der Wissenschaft auf mühevollem und dornigem Wege errungenen Tatsachen, nicht Hypothesen, geradezu ins Gesicht schlagen, keimen keine neue Ideen!

Wenn somit aus triftigen Gründen der Zutritt von Meerwasser zu der glutigen Masse im Erdinnern im allgemeinen ausgeschlossen erscheinen dürfte, wenn aber weiter die Vulkane dennoch Wasserdämpfe und Gase vieler auch in den Ozeanen enthaltener Stoffe herausschießen, so muß die Herkunft dieser dampfförmigen und gasigen Substanzen anderswo zu suchen sein. Und dann bliebe nur die Alternative übrig, daß die Wasserdämpfe von Süßwasser herstammen, welches auf seinem Wege zur Tiefe die übrigen Stoffe gelöst und dem Magma zugeführt hätte, oder aber, daß das Wasser und das Übrige nicht erst dem glutflüssigen Gesteinsbrei zugebracht wurden, vielmehr schon von Anbeginn an in diesem letzteren enthalten gewesen sind. Prüfen wir einmal, ob dergleichen möglich und wahrscheinlich sein könnte!

145 Millionen Quadratkilometer groß ist das Gesamtareal der Kontinente auf Erden. 122500 Kubikkilometer Wasser fallen jährlich auf das Festland nieder und würden dasselbe im Falle einer gleich-

mäßigen Verteilung mit einer 0.844 Meter hohen Wasserschicht bedecken. Von diesen 122500 Kubikkilometer ist der größere Teil, 95300 Kubikkilometer, an die Wechselreise zwischen Festland und Atmosphäre ohne Vermittlung des Meeres gebunden, fällt also sofort wieder der Verdunstung anheim. Die übrigen 27200 Kubikkilometer machen denselben Weg, aber durch Vermittelung des Ozeans und stellen etwa den fünfzigtausendsten Bruchteil der Menge Wasser vor, welche in den Meeresbecken des Planeten enthalten ist. Von diesen 27200 Kubikkilometer wieder fließt ein weiterer Teil oberflächlich ab, ohne in das Felsgerüst der Erde einzudringen. Das jedoch, was davon in die Tiefe einsickert, kommt auch nur wieder teilweise in der Gestalt von Quellen zu Tage, denn die Erdfeste hält etwas davon zurück, einmal derart, daß der Sauerstoff des Infiltrationswassers zur Oxydierung vieler Stoffe im Erdinnern dienen muß, wodurch im Verlaufe der Äonen ein beträchtliches Quantum Feuchtigkeit der Erdoberfläche dauernd entzogen und in die Tiefe gebannt worden ist, dann aber durch die Imprägnation mit Wasser, welche alle Gesteine, auch die scheinbar wasserundurchlässigsten erfahren, durch die sogenannte Bergfeuchtigkeit. 5 Prozente des sämtlichen auf unserem Planeten vorhandenen Wassers sollen nach den Berechnungen von Delesse auf solche Weise dem

eigentlichen Kreislauf entzogen worden sein, und es soll diese Menge mindestens dem Quantum gleichkommen, das in den Meeresbecken der Erde flutet, so weit und tief diese auch sein mögen.

Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß infolge der fortdauernden und stetig tiefere Zonen unserer Erde in Mitleidenschaft ziehenden Abkühlung des Planeten die Möglichkeit für das Infiltrationswasser gegeben ist, in stets größere Tiefen einzudringen, ohne in Dampf umgewandelt zu werden, daß demnach im Verlaufe der Zeiten immer mehr Wasser der Erdoberfläche dauernd entzogen wird, um in die Abgründe zu wandern und dort festgehalten zu werden, so sehen wir leicht ein, daß einmal, wenn auch in einer nicht berechenbaren Zahl fernliegender Tage, die Stunde kommen muß, in welcher kein Wasser mehr auf dem Antlitz unseres Planeten sichtbar sein und alles in den Eingeweiden der Erde aufgestapelt sein wird. Dadurch, daß der Vulkanismus einen Teil des auf die eben geschilderte Weise für die Erdoberfläche verloren gehenden Wassers wieder ersetzt — wir setzen hier voraus, daß das vom Vulkan geförderte Wasser kein marines ist —, würde diese Erscheinung für den Haushalt der Natur von dem allergrößten Werte, einfach unschätzbar sein, und die enormen Wohltaten, welche sie für die Erde und ihre Be-

wohner im großen und ganzen schaffte, fielen so sehr ins Gewicht, daß alle die Verheerungen und Zerstörungen, die gewaltigen Verluste an Menschenleben und an Eigentum, die vulkanische Kraftäußerung so vielfach und in so ungeheuerem Maße zuweilen auf Erden anzurichten pflegt, durchaus nicht dagegen in Betracht kommen könnten. Alles in allem genommen hätten wir also, vom rein menschlichen Standpunkte aus betrachtet, im Vulkanismus eine viel mehr segensreiche als verderbliche Erscheinung zu sehen.

Der Möglichkeit, daß also auch süßes Wasser bis zum Magma vordringen könnte, stünde nach dem Ergebnis des Vorgesagten nichts im Wege.*) Wohl aber der Annahme, daß dann diese infiltrierenden Gewässer mit chemischen Lösungen beladen sein würden, und zwar aus denselben Gründen, die wir in dieser Hinsicht auch für das Meerwasser geltend gemacht haben, nämlich, weil das Wasser doch wohl nur in dampfförmigem Zustand auf den glutigen Brei stoßen könnte, dann aber außerstande sein würde, noch Stoffe in Lösung zu enthalten, es sei denn, daß wir für diese letzteren auch eine gasförmige Diffusion durch die trennenden Gesteinsschichten hindurch

*) Für die Vulkane von Hawaii nimmt James D. Dana das geradezu an, und der Druck des eindringenden meteorischen Wassers muß hier (wie auch anderswo) das Eindringen des Seewassers verhindern.

in das Magma zuzugeben vermöchten. Spekulationen über diesen Gegenstand wären müßig und unnötig, bleibt es uns doch frei, der sich hier entgegenstellenden Schwierigkeit ganz einfach durch die Annahme aus dem Wege zu gehen, daß die in Frage stehenden Stoffe schon von vornherein im Magma absorbiert gewesen sind. Und diese Annahme ist schon früher aufgestellt und in allerjüngster Zeit wieder besonders hervorgehoben worden. „Wenn die Ursache der vulkanischen Eruptionen einzig in dem eindringenden Wasser und in dem heißen Erdinnern läge, so würde noch nicht einzusehen sein, woher die Unregelmäßigkeit und die große Seltenheit der Eruptionen kommt. Auf der einen Seite wirkt das Wasser, welches beständig in die Tiefe dringt, kontinuierlich, ebenso ist die zweite Ursache eine kontinuierliche. Auf der anderen Seite aber erfolgen die vulkanischen Eruptionen diskontinuierlich, selten und unregelmäßig. Den angenommenen Ursachen zufolge könnte das Resultat von zweierlei Art sein. Die vulkanischen Eruptionen müßten entweder kontinuierlich sein, es müßten auf den vulkanischen Spalten beständige Ausbrüche erfolgen, und es wäre ein großartiger vulkanischer Kreislauf des Wassers hergestellt, solange das Erdinnere heiß bleibt, oder die Eruptionen müßten periodisch erfolgen, indem die Periodizität von der

Schwerkraft veranlaßt wurde, wie bei dem Geysir-Phänomen.

Weder das eine noch das andere trifft zu, und gegenüber der Riesengröße der angenommen wirkenden Ursachen ist dasjenige, was von der Erde durch die vulkanischen Eruptionen geleistet wird, ein zu geringer Betrag, daß dieses Mißverhältnis allein zur Genüge zeigt, daß der Zusammenhang kein direkter sein könne."

Dies hat der bekannte Mineraloge Tschermak in Wien in einer klassisch gewordenen kleinen Abhandlung: „Über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung" ausgesprochen und seinerseits eine bessere Erklärung für die vulkanischen Phänomene in dem gefunden, was er die „Emanationstheorie" nennt. Diese leitet die vulkanischen Erscheinungen von der Tätigkeit solcher Gase und Dämpfe ab, welche ganz direkt aus dem Innern des Planeten hervorströmen. Der Gedanke, sagt der Wiener Gelehrte weiter, ist in sehr einfacher Form im Altertum gehegt, später zuweilen wieder in den Vordergrund gestellt, aber erst 1842 durch Angelot etwas ausführlicher entwickelt worden. Der französische Geologe A. de Lapparent und der Österreicher E. Reyer haben diese Lehre dann verfochten und mit triftigen Gründen gestützt, und in allerjüngster Zeit ist Eduard Sueß wieder da-

mit auf den Plan getreten, nachdem bereits einige Jahre vorher sein Sohn Franz anläßlich einer Besprechung der Thermen und Geysire, welche die aktiven Vulkane so häufig begleiten, geäußert hatte, daß über deren Ursprung wohl kein Zweifel bestehen könne. „Sie machen unmittelbar den Eindruck von kondensierten heißen Dämpfen, welche ebenso wie die übrigen verschiedenartigen Gasexhalationen in tieferen Regionen einem noch flüssigen Magma entströmen."

Alle Teile der Hydrosphäre, Ozeane und Flüsse, Wolken und Niederschläge, bezeichnet der ältere Sueß, darin einem Vorschlage Posepnys folgend, als **vadoses Wasser**. Vadoses Wasser ist das in den Erdboden einsickernde, das infiltrierende, auch dann, wenn es in so große Tiefen hinabsteigt, um als erwärmtes Wasser, als Therme wieder heraufzukommen.

„Der Wasserdampf der Vulkane," sagt Eduard Sueß, „kann nicht von vadoser Infiltration stammen; von der Kohlensäure ist solche Infiltration von vornherein ausgeschlossen. Woher stammen sie also? Sie stammen aus den tieferen Innenregionen des Erdkörpers, **und sind die Äußerungen einer Entgasung des Erdkörpers**, welche seit der beginnenden Erstarrung desselben begonnen hat und heute, wenn auch auf einzelne



Der Mosenberg mit Maar, Eifel.

Punkte und Linien beschränkt, noch nicht völlig abgeschlossen ist. Auf diese Weise sind die Ozeane und ist die gesamte vadose Hydrosphäre von dem Erdkörper abgeschieden worden. **Nicht die Vulkane werden von Infiltrationen des Meeres gespeist, sondern die Meere erhalten durch jede Eruption Vermehrung."**

Das Entweichen von Wasserstoff aus dem Vulkanschlot ist eine feststehende Tatsache. In den höheren Regionen der vulkanischen Esse tritt dieses Gas mit der Atmosphäre in Berührung, und es entsteht Wasser. „Den vadosen Wassermengen der Erdoberfläche gesellen sich auf diesem Wege neue Mengen zu, die jetzt erst und vor unseren Augen an das Tageslicht gelangen, **und die als juvenile Wasser zu bezeichnen sind.** Alles vadose Wasser ist einmal juveniles gewesen, ist es aber vados, so kann es selbstverständlicherweise nicht mehr in den juvenilen Zustand zurückkehren. Wir werden später noch sehen, von welcher weittragenden Bedeutung diese Lehre, die Emanationstheorie, für die Auffassung und Erklärung noch anderer, zum Vulkanismus gehöriger und mit dessen Erscheinungen im engeren Sinne innig verbundener Dinge ist.

Eduard Sueß ist in der Anwendung und im

Ausbau der Emanationstheorie wesentlich weiter gegangen, als Tschermak, der neben dem Vorgang der Gasentwickelung aus dem Erdinnern auch den in die Tiefe eindringenden und einsickernden Gewässern eine aktive Rolle bei den vulkanischen Phänomenen zuschreibt. Nicht aller Wasserdampf der Vulkane ist von der Verbrennung absorbiert gewesenen Wasserstoffes abzuleiten, sagt der letztere, sondern die Vorstellung von dem Hinabsinken der Wässer bis zur heißen Tiefe bleibt aufrecht, und macht uns jene Vorgänge deutlich, bei welchen nicht mehr Gase und Dämpfe die Hauptrolle spielen.

Der französische Forscher De Launay, welcher unter anderem auch ein äußerst geistvolles und fundamentales Werk über die warmen Mineralquellen geschrieben hat, hält darin inbetreff des von den Vulkanschloten ausgestoßenen Wasserdampfes die Emanationstheorie nicht für die richtige und will dieselbe im wesentlichen nur auf die reduzierenden Metalle und Metalloide angewendet wissen, die gleichzeitig mit dem Wasser aus den Feuerbergen in die Atmosphäre gelangen. Für die Herkunft des Wassers ist seiner Ansicht nach nur Infiltration der maßgebende Faktor.

Von diesen, zusammen mit dem vulkanischen Wasser an die Erdoberfläche kommenden Gasen und Dämpfen ist in unseren Auseinandersetzungen schon

hier und dort etwas die Rede gewesen. Es sind im allgemeinen Schwefelwasserstoff, schwefelige Säure, Schwefeldampf, Chlorwasserstoff, Kohlensäure, Bor, Fluor, Phosphor, u. s. f., die, vollends bei Entzündungen, sich gegenseitig zersetzen und eine Reihe anderer chemischer Verbindungen hervorbringen können, welche in der Gestalt von Sublimationen abgesetzt werden. Daß man aus dem Vorkommen dieser Substanzen die notwendige Herkunft des Wassers im Vulkan aus dem Meer abgeleitet hat, darüber ist schon näheres gesagt worden, und es wurde gezeigt, daß diese scheinbare Notwendigkeit gar nicht vorliegt, ja aus gewissen Gründen sogar abgewiesen werden muß. Die Ansicht, welche die aus dem Vulkanschlot aufsteigenden Gase und Dämpfe — vom Wasserstoff, resp. Wasserdampf hier abgesehen — als ursprüngliche und integrierende Bestandteile des Magmas, als die Folgen einer fortdauernden Entgasung des Planeten ansehen will, wird von De Launay, von Lapparent, von Reyer und von einer Reihe anderer der namhaftesten und kompetentesten Gelehrten vertreten, und auch Eduard Sueß hat dieselbe zu seiner eigenen gemacht. „Vadose Zutaten mögen also untergeordnete sein oder Beirrungen veranlassen, aber das Wesen der Erscheinung beruht auf dem Auftrieb juveniler Stoffe, dem „apport interne“ oder Zutrag aus der Tiefe.“

Gerade so, wie es juveniles oder vadoses Wasser gibt, so gibt es beispielsweise juvenile und vadose Kohlensäure oder juveniles und vadoses Kochsalz. „Das Meer erscheint uns nicht mehr als der abgebende, sondern als der empfangende Teil, und wir verstehen leichter die allerdings auffallende Übereinstimmung einer Anzahl von Stoffen im Meere und in den juvenilen Thermen. Die Salze des Meeres sind heute vados, sie sind jedoch einmal juvenil gewesen. Aber nicht nur das Meer empfängt juvenile Bereicherung, sondern auch die Atmosphäre.“ Die Kohlensäure, die an den verschiedensten Stellen unserer Erde aus dem Boden entweicht, vermehrt den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre, sofern sie nicht von den Pflanzen aufgenommen wird. Unnötig noch weiter auszuführen, daß ein Teil dieser Kohlensäure zweifellos vadoser Natur ist, zumal dieses Gas auf sehr verschiedene Weisen innerhalb des Felsgerüstes der Erde sich bilden kann. Aber dort, wo diese Kohlensäure-Exhalationen mit vulkanischen Erscheinungen in Verbindung stehen, dort, wo dieselben der letzte Nachhall dieser Phänomene sind, dort ist die Kohlensäure juveniler Natur.

Weiter oben haben wir bereits erläutert, von welcher Wichtigkeit die vulkanischen Vorgänge für den Haushalt der Natur sind, insofern, als sie verhindern,

daß der Wasserverlust der Erdoberfläche ein andauernd größerer wird. Wenn wir die Möglichkeit gesehen haben, daß diese segensreiche Wirkung der vulkanischen Dinge für das gesamte organische Leben auf der Erde schon allein durch die Infiltration des feuchten Elementes von oben her bis zum Magma, also durch die Bergfeuchtigkeit und ihre Folgen veranlaßt werden kann, so haben wir im juvenilen Wasser noch einen diese Wirkung ungemein steigernden Faktor, eine weitere und noch größere Garantie dafür, daß der Augenblick, in dem unser Gestirn als blut- und lebensloser Körper ähnlich wie sein Trabant, der Mond, einmal im Weltenraume dahinziehen wird, noch lange nicht gekommen ist.

Nun ist es ja leicht, die Behauptung aufzustellen, daß die Gase und Dämpfe, von denen wir soeben gesprochen haben, Emanationen des glutigen oder in überhitztem gasförmigen Zustande befindlichen Erdinneren seien, und die Frage liegt hier nahe: kann das denn auch bewiesen werden?

Um die dieser Anschauung zugrunde liegenden Dinge auseinandersetzen zu können, müssen wir vorher eine kleine Abschweifung vom eigentlichen Thema dieses Abschnitts machen und etwas antizipieren.

Wenn ein Vulkan aus dem Zustande heftiger Eruptionstätigkeit getreten ist, so hört nicht jede Äuße-

rung der ihn treibenden unterirdischen Kräfte auf, sein Mechanismus steht nicht plötzlich stille, sondern die Maschine bewegt sich noch immer fort, wenn auch zuweilen auf ihren geräuschvollen Gang während des Ausbruchsaktes eine ganz leise und manchmal nur schwer zu perzipierende Bewegung folgt. Der Unterschied zwischen einem tätigen und einem erloschenen Feuerberg im weiteren Sinne genommen besteht eben darin, daß bei dem ersteren vulkanische Kräfte sich noch betätigen, einerlei, ob in auch noch so geringem Maße, während sie beim letzteren gänzlich abgestorben sind. Es ist selbstverständlich schwer, hier eine scharfe Grenze zu ziehen, denn so mancher Vulkan, den wir als erloschen betrachten, gerade weil wir auch nicht mehr das leiseste Tiktak des treibenden Uhrwerks in ihm vernehmen können, ist vielleicht dennoch lebendig, und die Kräfte in seinem Innern schlummern nur, während wir dieselben für tot ansehen. Ein bekanntes und viel angezogenes Beispiel hierfür liefert die Geschichte des Vesuv, dessen unheimliche Natur vor dem 23. August 79 v. Chr. eigentlich gar nicht erkannt worden war, weil er, soweit Menschengedenken reichte, sein umstürzlerisches Wesen nicht mehr in irgendwelcher wahrnehmbarer Weise geoffenbart hatte. Man kann von einem Feuerberg aus jüngeren geologischen Zeiten kaum jemals sagen, daß er abgestorben, daß er er-

loschen ist, denn es könnte ja doch einmal der Fall sein, daß seine, zwar unserer Beobachtung sich entziehenden, darum aber dennoch vorhandenen feinen Pulsschläge sich in gewaltige Aufwallungen umändern und wiederum eine neue und intensive Eruptionstätigkeit heraufbeschwören würden.

Mag dem nun sein, wie es wolle, wenn der Vulkan aus dem Zustand erhöhter Tätigkeit in einen solchen relativer Ruhe tritt, so ändert sich meist die Art und das Mengenverhältnis der seinem Schlote entströmenden Gasmassen. Während des Eruptionsvorganges sind die Mehrzahl der oben erwähnten Substanzen in seinen Exhalationen zu beobachten, hört dieser aber auf, so gibt der Berg zwar immer noch Gase und Dämpfe von sich, dieselben nehmen aber insofern einen anderen Charakter an, als nunmehr Schwefelwasserstoff und schwefelige Säure, vermischt mit Wasserdämpfen das Übergewicht über die bisherigen und jetzt zurücktretenden Verbindungen erhalten. Man nennt ein derartiges Stadium in der Lebensäußerung eines Vulkans seine Solfatarentätigkeit, nach einem typischen Vorkommen für diese Erscheinung, nach der Solfatara in den Phlegräischen Feldern bei Neapel, einem Feuerschlund, der andauernd in einer solchen Phase sich befindet und in historischen Zeiten, von einer einzigen und recht problematischen

Lavaeruption, die im 12. Jahrhundert vor sich gegangen sein soll, abgerechnet, keine Ausbrüche gehabt hat. Eine Solfatara, die aber neben den erwähnten Substanzen auch noch Bordämpfe von sich gibt, ist der Vulkan von Vulcano auf den Liparen, der berühmte Chillan in Chile ist ein weiteres Beispiel hierfür. Daß der Solfatarenzustand hin und wieder einem erneuten Paroxysmus des Vulkans Platz machen kann, um nach dessen Beendigung wiederzukehren, das braucht wohl des weiteren nicht mehr ausgeführt werden.

Ist dieses letztere aber nicht der Fall, tritt statt eines nochmaligen größeren Ausbruchs eine weitere Verminderung in der vulkanischen Kraftäußerung auf, einerlei aus welchen Ursachen, so verschwindet auch der Solfatarenzustand mit der Zeit und geht allmählich über in die Mofettentätigkeit, bei der die Emanationen von Kohlensäure die Hauptrolle spielen. Die bekannte Hundsgrotte unweit Puzzuoli am Meerbusen von Neapel ist eines der drastischsten Beispiele hierfür, in Deutschland (Eifel, Wetterau), in Böhmen, in der Auvergne, fast in allen jüngeren Vulkangebieten unserer Erde sind andere dafür in großer Zahl zu finden.

Mit dem Verschwinden der Mofettentätigkeit hört jede für uns äußerlich greifbare Tätigkeit im Vulkan auf. Ob dieselbe dennoch zuweilen nicht eine latente

und für uns nicht wahrnehmbare sein kann, darüber haben wir soeben einiges bemerkt.

Dieselbe Reihenfolge im Charakter und in der Art seiner Exhalationen, die ein Vulkan in zeitlichem Sinne zeigt, zeigt er auch in örtlichem. Wenn wir einen soeben aus dem Feuerberg ausgebrochenen Strom glutiger Lava betrachten, so sehen wir, wie aus den Rissen und Spalten der Schlackenkruste, die sich sofort als Überzug über dem dahinfließenden Gesteinsbrei gebildet hat, Dämpfe entweichen, deren Natur man dank der präzisen, mühsamen und gefährlichen Untersuchungen einer Anzahl von Forschern, unter denen sich die Franzosen Fouqué und Deville zuerst rühmlich hervorgetan haben, ziemlich genau kennt. Zunächst der Ausflußöffnung der Lava, dort, wo diese am heißesten ist, treten die wasserfreien Gasemanationen, die trockenen Fumarolen auf, deren Temperatur 500°, den Schmelzpunkt des Zinks übersteigt, und deren chemischer Charakter bedingt wird durch das Überwiegen von wasserfreien Chlorverbindungen, darunter in erster Linie Chlornatrium. Fluor, Phosphor und Brom sind gleichfalls darin nachgewiesen. Die Fumarolen dieser Kategorie am Vesuv enthalten bis zu 94,30 Prozente dieses ersterwähnten Stoffes. Leitet man die Gase dieser Fumarolen über eine Kältemischung von 15°, so geben sie auch nicht

die geringste Spur von Feuchtigkeit ab. Sie sind also durchaus trocken, und daher ihre Bezeichnung.

Weiter abwärts auf dem Lavastrome, dort, wo die Temperatur seiner Dämpfe nicht mehr eine so intensive ist, wie am ersten Beobachtungspunkte, strömen Dämpfe anderer Zusammensetzung aus, und zwar salz- und schwefeligsaure, mit gewaltigen Mengen von Wasserdämpfen vermischt, und zwar in einem Verhältnis von 1 Teil dieser sauren Gase auf 1000 Teile Wasserdampf. Trotzdem die schwefelige Säure sich durch ihren erstickenden Geruch in diesen Fumarolen besonders hervortut, ist die Salzsäure ihr gegenüber dennoch im Übergewicht, und zwar im Verhältnis von 10 zu 1. Auch Arsen ist aus diesen Emanationen nicht selten bekannt geworden. Die Temperatur dieser sauren Fumarolen schwankt zwischen 300 bis 400°.

Noch weiter abwärts treffen wir auf die ammoniakalischen oder alkalinischen Fumarolen, deren Wesen durch das Vorherrschen des salzsauren Ammoniaks bedingt wird, das sich teilweise in freies Ammoniakgas umwandelt. Daneben treten ungeheure Massen von Wasserdämpfen und von Schwefelwasserstoff auf. Ihre Temperatur beträgt ungefähr 100°.

Dem Ende des Lavastroms noch näher finden wir die kalten Fumarolen, fast nur aus reinem Wasserdampf bestehend und etwa 5 Prozente Kohlensäure und

Schwefelwasserstoff enthaltend, bei einer Temperatur von weniger als 100°. Kohlensäure, das sei hier betont, kennt man übrigens auch schon in den heißesten, den trockenen Fumarolen.

Als äußerste Vorposten der Gasexhalationen aus der Lava erscheinen endlich die fast reinen Kohlensäurefumarolen, die Mofetten. Fumarolen, welchen große Mengen von Borsäure entströmen, sind ebenfalls bekannt, so in der Toskana zu Sasso und Laderello, (Soffioni) und auf Vulcano. An diesen Orten hat die Ausströmung der genannten Substanz Veranlassung zu ihrer Gewinnung gegeben.

Alle Fumarolen enthalten auch eine gewisse Menge von atmosphärischer Luft, wie aus dem Vorhandensein von freiem Stickstoff und Wasserstoff zu erkennen ist. Bei den trockenen Fumarolen ist das Mengenverhältnis dieser beiden Gase das gleiche, wie in der Luft, bei den sauren überwiegt der Stickstoff, und dasselben beobachtet man bei den alkalinischen. In den Mofetten tritt dies noch auffälliger zu Tage; hier kommen nur 19,4 Teile Sauerstoff auf 80,6 Teile Stickstoff.

Man hat diese zeitliche und örtliche Aufeinanderfolge im Gesamtcharakter der vulkanischen Ausströmungen gas- und dampfförmiger Substanzen nicht etwa so aufzufassen, daß stets ein anderes Element

an Stelle eines in der vorhergegangenen Phase darin vorhandenen in den Fumarolen auftritt. Vielmehr liegt die Sache so, daß die exhalierten Gase und Dämpfe schon in den heißesten Fumarolen zu finden sind, aber von den für diese bezeichnenden und vorherrschenden zurückgedrängt werden und sich daher weniger oder scheinbar auch gar nicht bemerkbar machen können. Nach und nach verschwinden die für die erste Kategorie der Fumarolen maßgebenden Stoffe, wie beispielsweise in den heißen die Chlornatriumdämpfe, weil bei sinkender Temperatur diese Substanz nicht mehr in flüchtigem Zustand bestehen kann, und weichen dann anderen, die ihrerseits eine Zeit lang und für die von der Temperatur gestattete Dauer dominieren; es werden also aus den trockenen Fumarolen saure, und so geht das in der geschilderten Reihenfolge immer weiter.

Hört der Nachschub von frischer Lava aus dem Vulkanschlot auf, so verwandelt sich mit der Zeit die trockene Fumarole in eine saure, dann in eine ammoniakalische, und so fort, es kommt also auch hier wieder die zeitliche Aufeinanderfolge zum Ausdruck.

In Gegenden, in denen in früheren geologischen Perioden einmal vulkanische Kraft in intensiver Weise entfaltet war und auch in der Gegenwart noch, wenn auch in sehr abgeschwächtem Maße tätig ist, kann man



Der übriggebliebene Teil des Krakatau nach dem Ausbruch von 1883.
Von der Ostseite aus gesehen. (Nach Photographie.)

Ähnliches beobachten, wie bei den Exhalationen noch stark arbeitender Feuerberge. Eine solche Gegend ist das nördliche Böhmen, das Gelände am südlichen Fuße, am Steilabfall des Erzgebirges, das durch den Austritt einer Reihe heißer Quellen berühmt geworden ist. Marienbad, Karlsbad, Teplitz mit ihren teilweise siedend warmen Wassern und die in der weiten Welt bekannten und vielgetrunkenen Säuerlinge von Gießhübel und Bilin dringen hier zum Labsal der leidenden und nach erquickendem Naß dürstenden Menschheit sprudelnd aus dem Erdreich. Das Gebirge, an dessen Gehängen die Linie der genannten Thermalbrunnen entlang zieht, die böhmische Thermalspalte, wie man sie genannt hat, hat seinen Namen von den Erzmassen erhalten, die es in seinem Schoße birgt. Daß zwischen den Klüften, auf welchen die Erze abgesetzt wurden, und den heißen Quellen ein Zusammenhang besteht, das hatte man schon vor längerer Zeit erkannt, und bereits vor mehr als vierzig Jahren hat Hermann Müller in Freiberg auf diese Erscheinung hingewiesen. Wenn wir nun die verschiedenen Erzlagerstätten in der Umgebung der Thermalspalte Revue passieren lassen, so finden wir sehr verschieden ausgebildete, solche die einen unverkennbaren Absatz aus heißen Wassern darstellen und auf Klüften und Spalten erscheinen, die gangförmig auf-

tretenden, und wiederum andere, welche dampfförmigen, metallhaltigen Exhalationen, oder vielleicht richtiger gesagt, einer Mischung von heißen Lösungen und Dämpfen ihre Entstehung zu verdanken haben, einer Sublimation. Zu dieser Sorte gehören die so ungemein wertvollen Zinnerzlager von Schlackenwald, Altenberg und Zinnwald im Norden der Thermalspalte und in deren unmittelbarer Nachbarschaft, auch die Zinnerzlagerstätten von Cornwall sind auf ähnliche Weise ins Dasein gerufen worden. „Erinnern wir uns," sagt Eduard Sueß, „nun zuerst daran, daß die heißesten Fumarolen der Vulkane trocken sind; ihre Absätze müssen daher die Merkmale von Sublimationen haben. Alle späteren, namentlich auch schon die sulfidischen Fumarolen (also die sauren), sind von Wasserdampf begleitet, und ihre Ablagerungen werden geschichtet oder zonenförmig übereinander gelagert sein können; in der Reihenfolge dieser letzteren Absätze kommt in erster Linie die leichtere Löslichkeit der Verbindungen im Wasser zum Ausdruck."

Die Sublimationserscheinungen der heißen Fumarolen sind nun, beiläufig erwähnt, klar erwiesen. Überall, wo dieselben aus der Lava aufsteigen, überziehen sie die Oberfläche der benachbarten Massen mit einem weißlichen Überzug von Chlornatrium.

Kehren wir wieder zu den sublimierten Zinnerz-

vorkommnissen zurück! Durch die geistvollen Ausführungen Daubrées wissen wir, daß dieselben erzeugt worden sind durch die Ausströmungen von Chlor, Bor und Fluor, „also von solchen, welche heute die trockenen heißesten Fumarolen kennzeichnen.“ Der große französische Geologe hat das experimentell dargetan und aus flüchtigen Verbindungen Zinnstein herzustellen vermocht. „Die Zinnerzvorkommnisse gehören den äußeren Teilen, gleichsam der Schale der Granitmasse an, auf der wir uns befinden, und deren Fortsetzung in größeren und kleineren Kuppen im östlichen Erzgebirge hervortritt. Flußspath, Topas, Turmalin, schwarzer Glimmer begleiten sie, und die Sublimationen sind an nicht wenigen Stellen über den Granit hinaus in die benachbarten Felsarten eingetreten.“

Sueß weist ferner auf die Solfatara von Vulcano auf den Liparen hin, aus denen man Borsäure und Chlorammonium gewonnen hat, und in deren Absätzen der uns schon des näheren bekannte Forscher Bergeat fast alle bezeichnenden Elemente unserer Zinnerzlagerstätten anführen konnte, so Lithium, Zinn, Wismut, Bor, Phosphor, Arsen und Fluor. Mustert man diese Mineralien und zieht dann in zweiter Linie die Anwesenheit von Kupfer und Schwefel in Betracht, die ebenfalls aus dem Krater von Vulcano entsteigen, so wird man „an die Zinnerzformation von Altenberg-

Zinnwald und die Kupfer-Zinnerzformation von Cornwall erinnert, deren Genesis seinerzeit Daubrée in so geistreicher Weise mit dem Empordringen saurer Gesteinsmagmen (Granit) in Verbindung gebracht hat," sagt dieser gründliche Kenner der äolischen Inselgruppe.

Die Zinnerzlagerstätten reichen nicht in große Tiefen hinab, meistens wohl nur wenige hundert Meter in den Granit hinein, dann „verstauben" sie, wie es in der Bergmannssprache heißt. Aber an mehreren Stellen kann man dann als Ersatz für sie in der Tiefe sulfidische Erze beobachten, zumeist Kupferkies (Cu, Fe, S^2) und Zinkblende (Zn S), dann oftmals auch Arsenkies (Fe S^2, Fe As^2), so daß der Mann vom Leder von einem zinnernen Hut über den sulfidischen Gängen redet. „Die Zinnerzlagerstätten deuten also auf die heißesten, in der Temperatur jenseits der thermalen und in ihrem überwiegenden Teile sulfidischen Phasen der Gangbildungen. Die Vertreter der allerjüngsten Phase der langen Reihe überaus mannigfaltiger Vorgänge, aus denen die heutigen Erzgänge hervorgingen, sind im Gegensatz hierzu die Thermen, die man da und dort auf den Gängen erschrotet hat." Es sind meist alkalinische und an Chlornatrium auffallend reiche Quellen. Auch Kohlensäure-Exhalationen hat man auf solche Weise angetroffen.

Der in neuerer Zeit von fachkundiger Seite aus

gemachte Versuch, die Entstehung der Erzgänge durch Auslaugung des Nebengesteins, durch die sogenannte Lateralsekretion zu erklären, kann, so meint der genannte Wiener Geologe, genauer Prüfung hier nicht standhalten. Die Füllung der erzführenden Klüfte ist ohne Zutrag aus der Tiefe nicht erklärbar. Ähnlich verhält es sich mit den Thermen von Karlsbad, deren Zusammenhang mit Gängen durchaus klargestellt worden ist. „Am Vesuv konnten wir wegen der Nähe des Meeres anfänglich im Zweifel bleiben, ob das Kochsalz nicht aus einer marinen Infiltration stamme. Aber hier, mitten im Festlande, findet man das Kochsalz wieder, sowohl in Thermen, welche der Bergbau auf Erzgängen erschlossen hat, als auch in Karlsbad. Die aus der Tiefe stammenden Stoffe erscheinen in der Form der am leichtesten löslichen Verbindungen, während andere, leichter sich abscheidende, namentlich metallische Verbindungen in der Tiefe zurückblieben.“ Die große Menge halbgebundener und freier Kohlensäure ist zweifellos juvenil. Sie entspricht, wie wir gesehen haben, einer späteren Phase vulkanischer Tätigkeit. Zieht man nicht die Verbindungen, sondern die Elemente hier in Betracht, so sind auch die Anzeichen der übrigen Phasen vorhanden, so aus der heißesten Chlor, Fluor, Bor und Phosphor, während die Metalle dieser Phase (Zinn, Wismuth u. s. f.) fehlen. Schwefel,

Selen, Thallium, Rubidium und Caesium, die Begleiter der sulfidischen Vorkommnisse in verschiedenen Vulkanen, und namentlich in Vulcano, sind neben Arsen und Antimon in den Karlsbader Thermen erkannt worden, letztere die gewöhnlichen Begleiter der sulfidischen Erze, und dann auch, als Spur dieser Erze selbst, das Zink. Die Ameisensäure, die Fouqué in den Fumarolen des Vulkans von Santorin gefunden hat, fehlt ebenfalls nicht.

Bezüglich gewisser anderer, in den Karlsbader Thermen enthaltener Stoffe kann man hinsichtlich von deren Provenienz geteilter Meinung sein, als Natrium, Kalium, Lithium, Calcium, Magnesium, Strontium, Eisen, Mangan, Aluminium und Silicium zwar in den Erzgängen sowohl, als auch in den vulkanischen Emanationen vorkommen, daneben jedoch im Granit, aus dem die heißen Quellen entsprudeln, ebenfalls enthalten sind, also durch Auslaugung dieses Gesteins in das Thermalwasser aufgenommen sein können. „Bei der sonstigen Mannigfaltigkeit des Zutrags aus der Tiefe ist dies aber eine Frage zweiter Ordnung.“

„Versuchen wir nun, zusammenzufassen. Die Temperatur der Gase, welche in den Vulkanen aufsteigen, steht dem Schmelzpunkte der meisten irdischen Gesteine nahe oder übersteigt ihn, und diese Gase

können daher nicht aus vadoser Infiltration hervorgehen.

Die heißesten Fumarolen sind trocken; Wasserdampf und thermale Lösungen gehören nachfolgenden Phasen an.

Der zinnerne Hut über sulfidischen Gängen des Erzgebirges entspricht der heißesten sublimierenden Phase solcher Tätigkeit; die anderen Gangausfüllungen, namentlich die sulfidischen Erze entsprechen späteren Phasen; die Thermen, welche heute auf den Erzgängen erschrotet werden, sind ein Nachklang. Ein Nachklang vulkanischer Tätigkeit sind auch, wenigstens hier, die zahlreichen Ausströmungen freier Kohlensäure, wie sich bis nach Schlesien aus ihrer räumlichen Verbindung mit der großen nordböhmischen Basaltzone ergibt.

Die heißesten trockenen Fumarolen, die durch Sublimation entstandenen Lagerstätten von Zinnerz, die salzsauren Regen des Vesuvs und das Kochsalz des Bergbaues von Altensalza, die heißen Dämpfe, welche kürzlich auf Martinique die Körper vieler Unglücklichen verbrannten, ohne doch die Kleider zu entzünden, und die heilbringenden heißen Wässer von Karlsbad sind Glieder einer einzigen untrennbaren Kette von Erscheinungen. Es ist die auch heute nicht völlig abgeschlossene Entgasung des Erdkörpers, ein Vorgang, welcher jenem gleicht, der sich in den Sonnen-

fackeln, sowie bei der Abkühlung jeder größeren Stahlmasse vollzieht (Sueß)."

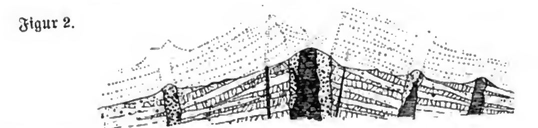
Der Münchener Gelehrte Weinschenk hat in den jüngstverflossenen Jahren die verschiedenen Vorkommnisse von Graphit untersucht und kam bei seinen Arbeiten zu dem Resultat, daß man auch darin zwei Arten von Graphit, der Entstehung nach, zu unterscheiden hätte. Einmal eine solche, welche durch Kontaktmetamorphose hervorgebracht worden ist, und zwar durch die direkte Einwirkung der bei der Entstehung der Erstarrungsgesteine freiwerdenden Mineralbildner (Gase und Dämpfe verschiedener Substanzen) auf kohlenstoffführende Gesteine, wie beispielsweise durch ein Eindringen, eine Intrusion, granitischer Massen in karbonische Sedimente in Steiermark geschehen ist. In diesem Falle wäre der Graphit vados, im Sueßschen Sinne, während dieses Mineral dort, wo es durch postvulkanische Tätigkeit aus dem Magma selbst abgeschieden wurde, also einen Bestandteil dieses letzteren bildete, als juvenil anzusehen sein würde. Beispiele dieser Entstehungsform der Graphitlagerstätten sind nach Weinschenk diejenigen im südlichen Böhmerwald und bei Passau in Bayern. Dieselben sind ebenfalls die Folgen einer mächtigen Granitintrusion, aber, um es nochmals zu betonen, in anderem Sinne, und nach dem Ebengenannten vielleicht hervorgegangen aus einer Zer-

Figur 1.



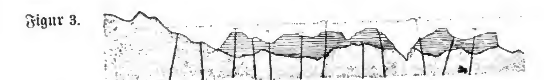
Vulkane vom Puy-Typus, vor und nach der Zerstörung. (Nach Geikie.) (Zu Seite 205.)

Figur 2.



Vulkan von Somma-Typus, vor und nach der Zerstörung. (Nach Geikie.) (Zu Seite 207.)

Figur 3.



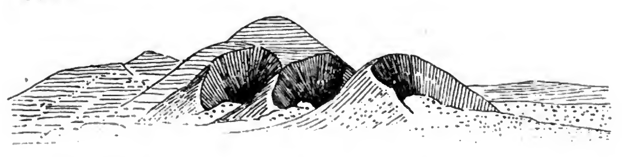
Vulkan vom Spalten- oder Plateau-Typus, vor und nach der Zerstörung. (Nach Geikie.) (Zu S. 218.)

Figur 4.



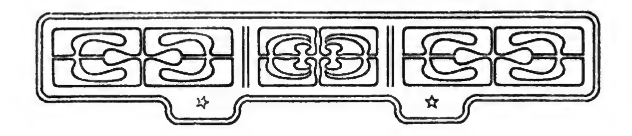
Der Vulkan von Fogo auf den Capverden. (Nach Stübel.) (Zu Seite 211.)

Figur 5.



Vulkan mit allmählicher Verschiebung des Eruptionszentrums. (Nach Reyer.) (Zu Seite 205.)

setzung von Kohlenoxyd und Kohlenoxydverbindungen der Metalle, welche möglicherweise mit Cyanidverbindungen gemengt waren. Gerade aus den letzteren scheidet sich Kohlenstoff mit besonderer Leichtigkeit als Graphit aus, wie durch die Erfahrungen der Technik vielfach bewiesen wurde.



Vierter Abschnitt.

Der Mechanismus des Vulkans.

a) Die treibende Kraft.

(Fortsetzung und Schluß.)

Kann die Spannkraft der Dämpfe der Motor der vulkanischen Ausbrüche sein oder nicht? Contejeans Ausführungen verneinen das. Wasserreichere und wasserärmere Schlieren im Magma. Lapparents Einwürfe gegen die Annahme des Lavenauftriebes durch Dampfexplosionen. Sueß' Ansicht, der Vesuv sei eine Form von Siedequellen. Das Geysirphänomen. Die strombolianische Tätigkeit. Svante Arrhenius' Vulkantheorie. Anschauungen Stanislas Meuniers über die Ursachen des Vulkanismus. Der Vulkanismus eine Folge der Kontraktion der Erdrinde. Stübels Lehre: die glutflüssige Materie ist selbst die Trägerin der vulkanischen Kraft. Die experimentellen Versuche von Dölter scheinen diese Theorie nicht zu bestätigen.

Das Vorhandensein von Wasser, resp. von den das Wasser bildenden Elementen im Magma und im Vulkanschlot ist, wie im Vorhergehenden gezeigt wurde, eine unumstößliche Tatsache. Der Wahrscheinlichkeit, daß dieses Wasser (wie auch die übrigen gas- und dampfförmig im Magma vorhandenen Substanzen) aus

dem Eindringen von Meerwasser bis zum glutflüssigen Gesteinsbrei nicht hergeleitet werden kann, haben wir Ausdruck gegeben, ebenso derjenigen, daß Süßwasser ebenfalls hier nicht in Frage kommen dürfte. Bliebe also nur die Annahme übrig, daß der vom Vulkan ausströmende Wasserdampf juveniles Wasser ist, demnach lediglich eine Folge der andauernd fortschreitenden Entgasung unseres Planeten. Welche gewaltiger Massen von Wasser auf solche Weise aus den Tiefer der Erdoberfläche zugeführt werden, das mag beispielsweise der Umstand illustrieren, daß nach den Berechnungen von Fouqué der Ätna während seiner Eruptionsphase von 1865 täglich etwa 22000 Kubikmeter Wasserdampf von sich gegeben hat!

Gehen wir von der Ansicht aus, daß das vulkanische Wasser juveniler Natur ist, so können wir ihm die Rolle nicht zuschreiben, die es bei den Anhängern der Lehre von der Meerwasser-Infiltration spielen soll. Diese besteht ja in erster Linie darin, daß beim Zusammentreffen des eingesickerten Wassers mit dem Magma Explosionen herbeigeführt werden, und die Ausbruchstätigkeit dadurch hervorgerufen wird. Aber, wie ganz richtig eingeworfen wurde, wenn das möglich ist, so wäre wirklich nicht einzusehen, warum das nicht andauernd geschehen soll, warum die Explosionen der durch diesen Motor getriebenen Vulkane nicht kon-

tinuierliche sind, statt nur sporadische, es sei denn, man hielte das plötzliche Aufklaffen von Spalten am Meeresgrunde für angängig, die dem Wasser in größerer Menge Zutritt zum Magma gewähren könnten, um sich nach kurzer Zeit wieder zu schließen. Wir haben diese Frage schon früher geprüft und uns aus einer Reihe von Gründen nicht für dieselbe erwärmen können, allerdings unter dem Zugeständnis, daß infolge von eruptiver Kraftäußerung im Vulkankegel oder in dessen Basis Risse entstehen können, durch welche dann, je nach der Lage des Vulkans, Wasser aus dem benachbarten Meere bis zu dem im Vulkanschlote aufsteigenden Magma hinzudringen imstande wäre. Wir betonen aber nochmals, daß ein solcher Vorgang eine Folgeerscheinung, nicht aber eine Ursache der Eruption sein würde.

Wir haben schon früher gesehen, daß nach Reyer das Magma im Inneren der Erde in starrem Aggregatzustande sich befinden muß, und zwar infolge des hohen Drucks, daß es aber ausbruchsfähig wird, wenn dieser letztere sich ändert. Der Gasgehalt im Magma ist nicht gleichmäßig verteilt, sondern es sind gasreichere und gasärmere Massen darin vorhanden, Schlieren. Lavamassen mit viel absorbiertem Wasser werden beim Abnehmen des Druckes zerstäubt, sobald sie der Erdoberfläche nahe kommen, und diesen

können wiederum andere folgen, die, weil sie viel weniger mit Wasser durchtränkt sind, sehr viel langsamer im Vulkanschlote aufsteigen werden. Anknüpfend an diese Auseinandersetzungen Reyers äußert Bergeat die Ansicht, daß die Paroxysmen des Vulkans (Stromboli) auf eine plötzliche Entwicklung gewaltiger Dampfmassen zurückzuführen seien. „Gelangt eine an Wasser besonders reiche Schliere in den Vulkanschlot, so kann dieses in überhitztem Zustande bis in beträchtliche Höhe emporsteigen, ohne in Dampf überzugehen; es findet ein ähnlicher Vorgang statt, wie wir ihn bei dem stoßweisen Aufwallen der Schwefelsäure oder des Wassers wahrnehmen können, die wir in einem Glase kochen: eine Zeitlang vermögen wir die Flüssigkeiten zu überhitzen, bei geringer Erschütterung oder beim Umrühren tritt eine heftige, oft explosionsartige Blasenentwicklung ein. Ähnlich mag es sich bei den mit überhitztem Wasser durchtränkten Schlieren verhalten, wenn sie mit den Schlotwandungen oder etwa mit hineinfallenden kühleren Schlacken in Berührung kommen, oder in den Bereich der Blasenentwicklung nahe der Lavenoberfläche gelangen."

Die Spannkraft der im Magma eingeschlossenen Gase als motorischer Faktor beim Auftrieb der vulkanischen Auswurfsmassen aus dem Erdinneren zur Erdoberfläche würde also nach der soeben vorgetragenen

und von vielen Forschern geteilten Meinung genügen, sofern nur ein Ausweg für diese Massen vorhanden ist, also etwa eine sich öffnende Kluft oder Spalte, oder auch falls eine Verminderung des Drucks stattfände, die allerdings anders, als durch die Entstehung eines bis in die Nähe des Magmas reichenden Risses kaum erklärbar wäre.

Schon vor geraumer Zeit hat ein weniger bekannter französischer Forscher, Ch. Contejean, der an der naturwissenschaftlichen Fakultät zu Poitiers Geologie lehrte, einen von Lapparent wieder zu Ehren gebrachten Einwurf gegen die Anschauung gemacht, die Spannkraft der durch eindringendes Wasser erzeugten Dämpfe sei die Triebfeder der Eruption, der hier ausgeführt werden soll. Wir müssen uns, so meint der Genannte, die Sache, wenn sie möglich wäre, doch so vorstellen, daß eine Zone von Dämpfen zwischen der festen Erdkruste und dem darunter befindlichen Magma entstünde, die infolge ihrer Expansionskraft arbeiten und die Lavasäule nach oben treiben würde, etwa so, wie der Luftdruck die barometrische Säule hinauftreibt, oder noch besser, wie die elastische Gewalt des Dampfes in einem Dampfkessel die Quecksilbersäule eines Manometers hochhebt. Dann aber können diese Wasserdämpfe nicht direkt an dem unteren Ausgangsende des Vulkanschlotes, da, wo dieser in die mag-

matische Zone hinabreicht, angesammelt sein, sonst würde ja der Dampf durch diesen Schlot nach Maßgabe seiner Entstehung entweichen müssen. Unter solchen Umständen ist es zwar verständlich, daß die Wasserdämpfe eine entsprechende Spannkraft erhielten, um den ihnen von der im Vulkanschlot vorhandenen Lava entgegengebrachten Druck zu überwinden (falls eine solche Lavamenge hier vorhanden wäre), und damit die den Ausbruch einleitende Explosion zu bewirken, aber es bliebe unerklärlich, wieso die Dämpfe befähigt sein sollen, die unter ihnen befindlichen Magmamassen nach oben zu bewegen. Nehmen wir aber an, daß die Ansammlungen von Wasserdämpfen neben und nicht unter dem Ausgangsende des Vulkanschlots ins Magma lägen, so würde ein Auftrieb der Laven ja nicht mehr verneint werden können, wohl aber dafür die Möglichkeit der Anfangsexplosion und des Austritts der gewaltigen Massen von Wasserdampf, welche jede größere Ausbruchstätigkeit der Vulkane im allgemeinen zu eröffnen pflegen. Nach der hier in Frage stehenden Lehre häufen sich die Wasserdämpfe ganz allmählich und stetig in den Tiefen an, während ihre Expansionskraft ebenfalls mit der Zeit wachsen und zunehmen muß. Die Folge davon würde ein durch diese Dämpfe hervorgerufenes allmähliches Ansteigen der Laven im Schlote sein, wodurch diesen ersteren

der Ausweg nach oben so lange versperrt bleiben müßte, bis das Niveau des glutflüssigen Breies wieder bis zum unteren Ausgangsende des Schlotes herabgesunken wäre.

Das hieße mit anderen Worten, daß bei einem vulkanischen Ausbruch die Emission der Laven zuerst stattfinden müßte, und dann erst der Austritt der Gasmassen. Aber gerade das Umgekehrte ist der Fall!

Gegen die Annahme vom Auftrieb der Laven durch explodierende Dampfmassen wendet sich Lapparent mit einem weiteren Einwurf von großer Tragweite. Wir wissen, so äußert er sich, daß, solange die Luft keinen Zutritt zu den glühenden Lavamassen erhält, diese eine Reihe von brennbaren Gasen aufgespeichert halten, die deutlich zeigen, daß sich im Gesteinsbrei bis zu dessen endgiltigem Austritt aus dem Vulkanschlot keinerlei reduzierende Wirkungen geltend gemacht haben können. Wie aber wäre das angängig infolge der Dissociation des Wassers, bei welchem Vorgang der Sauerstoff doch immer mit oxydierbaren Substanzen zusammen gegenwärtig sein müßte!

„Ziehen wir ferner in Betracht, daß die mit dem Ozean am typischsten vergesellschafteten Vulkane diejenigen der Sandwich-Inseln sind. Nun sind mit

Explosionserscheinungen verbundene Paroxysmen an diesen Feuerbergen eben unbekannt, und niemals zeigen sich hier gewaltige Dampfexhalationen. Und dennoch dürften gerade hier durch Aufklaffen von Spalten entstandene Verbindungen zwischen Meerwasser und Lava nicht fehlen, denn mehr als einmal hat ein submariner Erguß der Laven des Kilauea stattgefunden. Aber eigentümlicherweise ereignete sich noch ein jedesmal, wo dies der Fall gewesen ist, keine heftige Explosion, und lediglich nur eine kurze Temperaturzunahme des Meerwassers, und unzählige tote Fische im Wasser zeigten den Vorgang an. Daraus wäre zu folgern, daß immer, wenn Meer und unterirdische Mächte miteinander in Berührung kommen, die letzteren das erstere zurücktreiben und die Oberhand gewinnen müssen." (Lapparent.)

Auf Grund von Erscheinungen, die Eduard Sueß im Vereine mit einigen anderen Gelehrten, darunter der berühmte Bonner Mineraloge Gerhard vom Rath, im Januar 1871 am Vesuv wahrgenommen hat, kam er dazu, die damalige Tätigkeit dieses Vulkans mit einem Geysir zu vergleichen. „Die Analogie mit dem Geysir war so groß, daß der Schluß sich aufdrängen mußte, der Vesuv sei nur eine Form von Siedequellen."

Die Geysire sind heiße Quellen, die nicht unter

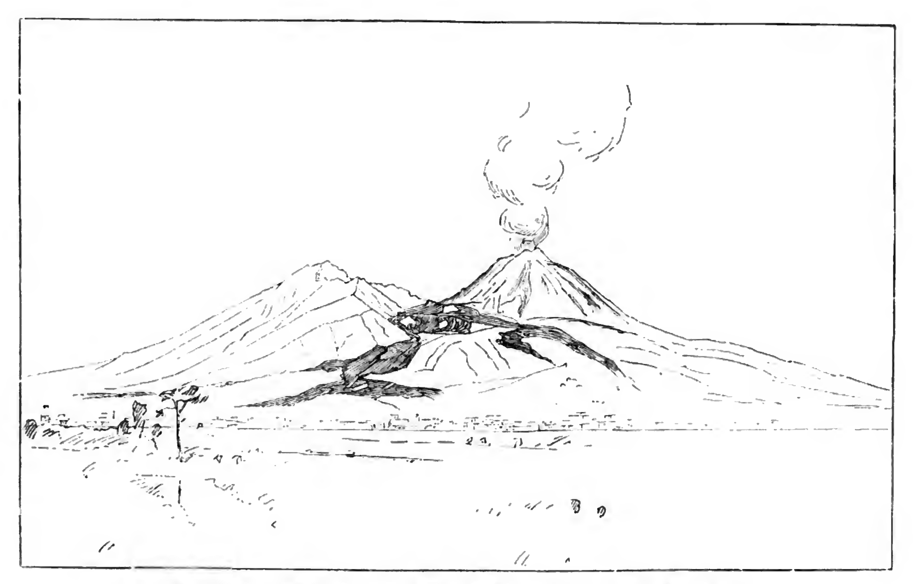
hydrostatischem Drucke stehen und nicht andauernd, also nicht kontinuierlich Wasser von sich geben, sondern nur in mehr oder weniger regelmäßigen und jeweils durch Ruhepausen unterbrochenen Zwischenräumen. Es sind also intermittierende Quellen, deren Mehrzahl schwefelige Gase, aber mit gewaltigen Mengen von heißem Wasser untermischt, in dicken Strahlen hoch in die Lüfte hinausschleudern, Phänomene, welche mit dem Vulkanismus in engen Beziehungen stehen, und zwar meist da, wo dessen Kräfte in abnehmendem Maße tätig sind, sich also auf Gas- und Wasserexhalationen beschränken. Die Geysire haben ferner die Eigenschaft, starke Absätze von Kieselsäure zu liefern, welche rings um die Quellenöffnung größere und kleinere hügelartige Gebilde darstellen. Der Geyserit, aus dem diese Absätze bestehen, setzt sich aus opalartigen Modifikationen der Kieselsäure zusammen, und am Abscheiden dieser Mineralsubstanzen nehmen Fadenalgen, so Leptothrix, Calothrix u. s. f., einen starken Anteil. Geysire sind in Island, von woher auch die Bezeichnung für diese Siedequellen stammt, zuerst bekannt geworden, späterhin wurden dieselben auf Neuseeland und im Westen der nordamerikanischen Union, im National-Park aufgefunden. Auch auf den Azoren sind ähnliche Dinge nachgewiesen.

Die von den isländischen Geysiren abgelagerte

Masse stammt aus den dortigen Palagonittuffen, diejenige der heißen Springquellen des Yellowstone-Gebiets aus den liparitischen Gesteinen ihres Untergrundes. Es ist von Lapparent betont worden, daß die Mehrzahl der Solfataren und Geysire in innigem Verhältnis zu älteren, also ihnen vorhergegangenen Ergüssen sehr saurer Gesteine stehen, so beispielsweise in den Phlegräischen Feldern, wo die Solfatara in nächster Nähe eines trachytischen Lavastromes tätig ist, und auf den Liparen, wo liparitische Gesteine mit einem bis 77 % erreichenden Gehalt von Kieselsäure gewaltig entwickelt sind und der Stromboli arbeitet, dessen mit den Geysiren sehr nahe verwandten, um nicht zu sagen identischen Charakter wir noch kennen lernen werden. Auch in Mexiko läßt sich das nachweisen. Der von Solfataren und geysirartigen Phänomenen durchsetzte Distrikt von San Andres besteht in seinem Untergrunde aus Trachyten und Obsidianen, welche die großartige Bergmasse des Cerro de las Humaredas bilden. In Californien treten ebenfalls Dampfquellen in der Nachbarschaft von an Kieselsäure verhältnismäßig reichen Felsarten auf, die Geysire des Yellowstone brechen in der Nähe einer mächtigen Ryolithmasse aus der Erde. Gleiches ist in Neuseeland, im bekannten Tarawera-Gebiete der Fall, und zweifellos auch auf Island, wo der Große Geysir im Konnex mit dem

liparitischen Hügel des Langafjell steht, wie durch Schmidt zuerst nachgewiesen wurde, und wie es Thoroddsens Untersuchungen bestätigen. Es hat demnach den Anschein, als ob die chemisch wirksamen Dämpfe aus den Solfataren und den diesen verwandten Gebilden eine ganz besondere Rolle beim Durchbruch derjenigen Eruptivmassen zu spielen berufen sind, deren Reichtum an Kieselsäure sie wenig schmelzflüssiger macht, zumal in denjenigen Gebieten, die Eruptionszentren von basischer Natur darstellen, derartige vulkanische Erscheinungen gänzlich oder fast gänzlich fehlen. So auf den Hawaii-Inseln und am Ätna.

Eine das Geysirphänomen in vollkommener Weise erläuternde Erklärung verdankt die Wissenschaft dem berühmten Chemiker Bunsen, der selbst einmal an Ort und Stelle seine Beobachtungen machen durfte. Die Figur auf Tafel 9 mag zum besseren Verständnis derselben dienen. Die Abbildung stellt einen Durchschnitt durch die Geysirröhre dar. Bei dem Punkte A (3,30 m tief) wurde eine Temperatur von 85,5 ° festgestellt, bei B (8,10 m) 110 °; bei C (11 m) wurde keine Temperatur konstatiert. Bei D dagegen (13 m) betrug sie 121,8 °, bei E (18 m) 124 °, und bei F (22,5 m) 126 °. Um das Wasser zum Siedepunkt zu bringen, der sich ja bei zunehmendem Druck der darauf lastenden Wassersäule erhöhen muß, je tiefer wir in die Röhre eindringen, sind bei



Der Vesuv nach dem Ausbruch vom Jahre 1872. Nach A. Heim.
Links die Somma, rechts der eigentliche Vesuvkegel.

A 107 °, bei B 116 °, bei C 120,8 °, bei D 123,8 °, bei E 130 ° und bei F 136 ° erforderlich. Demnach wären nach den oben angegebenen Zahlen an keiner Stelle der Geysirröhre die zum Sieden des Wassers nötigen Wärmemengen vorhanden. Auf dem Grunde der Röhre beträgt der Unterschied zwischen der wirklichen und der Siedetemperatur sogar nicht weniger als 10 °, und an dem oberen Ende ist diese Differenz noch sehr viel beträchtlicher. Beim Punkte D dagegen, in 13 m Tiefe ist dieser Unterschied sehr klein, etwa 2 °.

Wenn nun die bei F auf dem Grunde der Geysirröhre in dieselbe eindringenden Dampfmassen die nötige Spannkraft erworben haben, um die Wassersäule um etwa 2 m in die Höhe zu treiben, was man an der Ausbruchsstelle beobachten kann, so verschiebt sich die bei D befindliche 121,8 ° heiße Wasserschicht einen Augenblick nach C hinauf, wo nur noch eine Temperatur von 120,8 ° herrscht. Hier verwandelt sie sich dann sofort in Dampf und schießt das über ihr lastende Wasser hinaus, indem auf solche Weise ein mächtiger Strahl zustande kommt, der viele Meter hoch in die Lüfte steigt. In den Glanzzeiten des großen Geysirs von Island hat der hinausgeschleuderte Wasserstrahl an 3 m Durchmesser und 30—50 m Höhe erreicht. Heute ist das nicht mehr der Fall, und die damaligen Intervallen von 6—7

Stunden sind bedeutend größer geworden. Oft kann man tagelang (nach Sueß bis zu 20) auf die Wiederholung eines Ausbruchs warten, der nur selten mehr die Mächtigkeit und Höhe früherer Tage erreicht. Tätiger sind die Geysire Nordamerikas, ebenso regelmäßiger in ihren Ausbrüchen, so der Old Faithful, der seiner Präzision diesen Namen zu verdanken hat und alle 65 Minuten sich produziert, während ein anderer, der Giant, mehr serienartige Anfälle bekommt, je nachdem einen oder mehrere am Tage, und jede Serie bis zu sieben Einzeleruptionen umfassend. Die von Hochstetter zuerst beschriebenen Geysirerscheinungen Neuseelands, die in gewaltiger Anzahl längs einer 225 km langen Bruchlinie auftraten (allein 76 im Waikato-Tale) sind durch einen großartigen vulkanischen Ausbruch im Jahre 1886 fast alle zu Grunde gegangen.

Bei pulsierenden Quellen von der Art der Geysire wird man, wie Sueß bemerkt, nicht die genaue Regelmäßigkeit des Pulsschlages eines lebenden Wesens erwarten können. „Kleinere Seitenzugänge in der Tiefe und andere Nebenumstände bringen es bei den Siedequellen dahin, daß sehr oft neben den regelmäßigen Ausbrüchen der Siedequellen eine Reihe viel kleinerer Ausbrüche einhergeht, in denen keine Regelmäßigkeit wahrzunehmen ist, und erst, wenn man von diesen kleinen

Zuckungen absieht, die namentlich der größeren Eruption voranzugehen pflegen, wird der Rhythmus erkennbar."

Die Geysire sind, das mag hier noch bemerkt werden, geologisch ephemere Gebilde, um hier einen Ausdruck von Andreä zu gebrauchen, mehr oder weniger kurze Phasen in dem Entwicklungsgang bestimmter heißer Quellen, wie denn auch alle verbindenden Übergänge zwischen typischen Geysiren und gewöhnlichen heißen Quellen auf der einen und den Dampfquellen auf der anderen Seite vorhanden sind.

Zur Herausbildung eines Geysirs ist es nach den Ausführungen des ebengenannten Hildesheimer Geologen durchaus nicht erst notwendig, daß eine schornsteinartig gebaute Röhre vom Quellorte in den Felsboden hinabreicht. Der Geysir ist vielmehr fähig, sich seinen Apparat selbst aufzubauen. Hören wir, wie Andreä das erklärt:

„Eine reichlich Dampf führende Thermalquelle tritt auf einer in der Natur vorhandenen, vielleicht auch schon oberflächlich durch Verwitterung erweiterten Spalte in dem Liparit zu Tage. Sehr bald wird, namentlich randlich, der Absatz von Kieselsinter, der vorwiegend durch Verdunstung und durch Algenwachstum geschieht, beginnen und nach der Mitte der Quelle fortschreitend, eines jener prachtvollen blauen, oft kreisrunden und tief trichterförmigen Wasserbecken bilden.

Häufig sind die Ränder dieser Quellen unterhöhlt, da der Absatz des Sinter oberflächlich am schnellsten fortschreitet.

Mit der Zeit wird sich dann, wie Bunsen und Tyndall das geschildert haben, ein flacher Kegel aufbauen, in dessen Mitte für das aufsteigende heiße Quellwasser ein Kanal, das Geysirrohr, frei bleiben wird. Ein Geysirbecken wird entstehen bei regelmäßigem, randlichem Überfließen, eine Schornsteinbildung wird eher dann erzeugt werden, wenn das Geysirrohr für gewöhnlich nicht mit Wasser erfüllt ist und der Absatz mehr bei und gleich nach der Eruption stattfindet, auch wenn die Algentätigkeit beim Absatz des Sinters sehr überwiegt." Die Abbildung auf Taf. 9 diene zur Erklärung des Gesagten.

Eine Art von pulsierender Siedequelle, wie nach der Auffassung von Sueß der Vesuv sie darstellt, ist auch der Vulkan Stromboli auf den Liparischen Inseln, dessen in gewissen, wenn auch unregelmäßigen Zeiträumen wiederkehrende Aufwallungen des Glutbreies im Krater, die „strombolianische Tätigkeit" eines Vulkans, schon vor Jahrhunderten aufgefallen sind. Bergeat, der diesen Feuerberg eingehend untersucht hat, gibt eine beredte Schilderung dieses Phänomens, die wir hier folgen lassen wollen:

„Von einer ernsten Schönheit war das Schau-

spiel in der Vollmondnacht des 14. Oktober. Über dem Antico (dem ältesten Hauptkrater des Stromboli) lag dann und wann heller Glutschein, die tosende Tätigkeit des dritten Kegels, in der stillen Nacht noch viel schauriger, förderte feurige Garben von glühenden Lapilli, etwa so, als ob man nasses Pulver verpuffen ließe. Am prächtigsten waren aber auch jetzt die Ausbrüche des westlichen Schlundes. Sie bereiteten sich manchmal vor durch ein leichtes Brausen, das begleitet war von immer stärker werdendem und wieder verlöschendem Aufleuchten; daher wurden mitunter zähe Massen glühender Lava bis an den Rand des Kraters gespritzt. Plötzlich schien es, als ob der Glutfluß sich in dem Schlunde höbe, er trat bis an den Rand, schien sich emporzublähen und mit einem lauten Knall, den wir mit pochendem Herzen erwarteten, entfaltete sich eine Feuergarbe gleich einem der Bouquets, die gewöhnlich den Schluß eines Feuerwerks bilden. Die Explosion erfolgte jedoch auch ohne jede Vorbereitung. Manchmal lag tiefe Stille über der ganzen Terrasse, bis plötzlich die rote Feuersäule emporstieg und den dunkeln Abhang des Berges mit unzähligen Lichtchen besäte, die langsam erlöschten. Manche der Bomben müssen den Durchmesser von einigen Metern besessen haben, denn sie strahlten noch sehr lange rote Glut aus."

Eine Gesetzmäßigkeit in der Größe der die Explosionen trennenden Zeiträume besteht, wie schon gesagt, nicht, wenn eine solche auch schon vielfach behauptet wurde, und der Siedeprozeß, die Bildung der Gasblasen, durch deren Empordringen und Platzen die Explosionen erfolgen, muß ganz nahe an der Oberfläche vor sich gehen.

Über eine andere Erscheinung beim Stromboli, die zwar nicht in den Rahmen dieses Abschnittes gehören mag, immerhin aber von so großem Interesse ist, daß sie mit einigen Worten erwähnt werden dürfte, soll hier noch kurz Einiges gesagt werden. Es ist ein schon von Alters her eingewurzelter Glaube gewesen, das Wetter, d. h. der Luftdruck, beeinflusse die Heftigkeit der Eruptionen dieses Vulkans, eine Annahme, die schon von Schriftstellern des Altertums, Plinius, Solinus und noch anderen geteilt wurde. In späteren Zeiten ist von dieser Eigenschaft des Stromboli, gewissermaßen als Wetterprophet zu dienen, vielfach die Rede gewesen, und eine namhafte Zahl bedeutender Forscher — wir nennen nur L. v. Buch, Poulett-Scrope, Abich — hat sich damit beschäftigt, sowohl in bejahendem, als auch in verneinendem Sinne. Besonders jedoch im ersteren. Bergeat ist bei seinen Barometerbeobachtungen gelegentlich einer dreimaligen Besteigung des Vulkans zu einem entgegengesetzten

Resultat von demjenigen gelangt, welches nach der bisherigen Ansicht zu erwarten gewesen wäre. „Ein abnehmender Luftdruck hätte nach letzterer eine Zunahme vulkanischer Erregung mit sich bringen müssen; statt dessen ließ sich über der Kraterterrasse sehr deutlich eine Abschwächung der Eruptionen erkennen.“ Auch eine starke Luftverminderung bleibt ohne merklichen Einfluß auf die Tätigkeit des Vulkans, und allein nur die Dampfbildung über dem Krater und an den Fumarolen läßt einen Schluß auf die kommende Witterung zu. „Streichen kalte und feuchte Winde über dem Krater hin, so wird sich mehr „Rauch“ wahrnehmen lassen, als bei trockenem Wetter, wo die dem Krater entsteigenden Gase nur für kurze Zeit zu Dämpfen sich kondensieren, um alsbald wieder, in der Luft zerschmelzend, unsichtbar zu werden. Die bei feuchter Luft in verstärktem Maße auftretenden Dampfwolken ließen zugleich wie eine Wetterfahne die Richtung des über den Gipfel hinstreichenden Windes erkennen.“

Nachdem wir nun das Wesen des Geysirphänomens kennen gelernt haben, kehren wir zu der Sueßschen Ansicht zurück, der Vesuv selbst sei nur eine Form von Siedequellen. Wir erteilen dem berühmten Wiener Geologen wieder das Wort:

„Im Januar 1871 hatte der Vesuv seitlich außer-

halb des Hauptkraters und etwa 60—70 m tiefer als der Gipfel einen kleinen Krater aufgebaut, den „Cratere parasitico“, wie er damals genannt wurde.

Von ferne erschien er als eine zackige Erhöhung auf dem sonst gleichförmig abfallenden Kegel des Vulkans. Am 31. März desselben Jahres standen wir, Professor Gerhard vom Rath aus Bonn, einige Wiener Freunde und ich selbst, bei heiterer Nacht auf dem Quai St. Lucia in Neapel, und wir konnten in unzweifelhafter Weise wahrnehmen, daß der kleine Krater in regelmäßigem Rhythmus nach je 6—8 Sekunden aufleuchtete, während im Hauptkrater gleichfalls rhythmisches Aufleuchten, aber nur nach etwa zwei Minuten, sich einstellte. Die beiden Ausbruchsstellen waren also in dieser Beziehung voneinander selbständig, da sie aber sicher einer gemeinsamen tieferen Esse entsprangen, konnte die Teilung nur in den oberen Horizonten, etwa an der Stelle der Abtrennung der Nebenesse des Cratere parasitico, eintreten, und die Verschiedenheit des Baues der obersten Teile der Esse mußte maßgebend sein für den Rhythmus. Am folgenden Tage gelang es uns, in das Innere des Cratere parasitico einzutreten. Wir sahen in seiner Esse die Lohe in je 6—8 Sekunden um einen Meter ansteigen; dann lösten sich aus der siedenden Masse kopfgroße Blasen, und glühende Fetzen

von Schlacke wurden hoch in die Luft geschleudert. Hierauf sank die Lohe im Schlunde, eine neue Schlackenrinde bildete sich sofort, um durch eine neue Explosion wieder in großen Garben ausgeworfen zu werden. Wolken von Wasserdampf schwebten um die Ausbruchsstelle; auch Chlorwasserstoff und schweflige Säure waren anwesend. Im allgemeinen war es aber doch nur das Bild eines Geysirs, der neben diesen überhitzten Gasen auch geschmolzenes Gestein auswarf."

Bei 1090° C. tritt nach Dölters Untersuchungen bei der Vesuvlava Dünnflüssigkeit ein, bei 1060° C. wird dieselbe weich. Letzteres mag wohl die Temperatur der noch plastischen Lavafetzen gewesen sein, welche der Krater ausschleuderte, und diejenige der kochenden Lava dürfte in der Tat keinen viel höheren Punkt als 1090° C. erreicht haben. „Aber nicht der Umstand, daß die Intermittenz von 6—8 Sekunden zur Abkühlung der Lava von 1090 auf 1060° C. hinreicht, ist hier," wie Sueß betont, „das Entscheidende, denn es kommt das rasche Entweichen der Gase in Betracht, wohl aber der Umstand, daß die Wände des Kessels selbst nicht aus Asche, sondern aus durch eine anfängliche Explosion aufgerichteten Schollen derselben Lava bestanden, und daß sie auch nach vielen Monaten nicht aufgeschmolzen waren.

Dies führt zur Vermutung, daß die im Cratere

parasitico aufsteigenden Gasblasen selbst die Wärmebringer gewesen sind, ganz wie die heißen in das Sinterrohr des Geysirs eintretenden Blasen, daß sie es waren, welche die Laven durch Abgabe von Wärme zum Schmelzen brachten und dann unter den bekannten Intermittenzen aufstiegen. Man wird in dieser Ansicht durch den Umstand bestärkt, daß größeren vulkanischen Ausbrüchen unterirdische Kanonenschläge vorauszugehen pflegen, welche allgemein für das Zeichen des Eintretens sehr heißer Dampfblasen in eine kühlere Umgebung gehalten werden. Die dumpfen Schläge werden häufiger, bis endlich der erste weiße Dampfballen aus dem Krater hervorschießt. Später erst steigt die siedende Lava auf, die inniger mit Wasserdampf gemengt ist.

Wie dem aber auch sein mag, so viel steht fest, daß die Massen von Wasserdampf, welche aus dem Cratere parasitico entwichen, aus einer Temperaturzone stammen mußten, welche dem Schmelzpunkte der meisten Felsarten gleichstand, oder ihn übertraf, in welcher daher von porösem oder zerklüftetem Gestein und schon aus diesem Grunde auch von vadoser Infiltration nicht die Rede sein kann."

Svante Arrhenius, der uns schon durch seine geistvolle Theorie von der möglichen Beschaffenheit des

Erdinnern genauer bekannt geworden ist, hat sich im Verfolg seiner Ausführungen auch mit der Anwendbarkeit seiner Lehre auf die Erklärung der vulkanischen Ausbrüche beschäftigt. Der schwedische Forscher bekämpft zuerst die Meinung von den Beziehungen der Vulkane zu präexistierenden Spalten, soweit solche verallgemeinert wurde. Es kommen, sagt er, unzweifelhaft Feuerberge vor, die von solchen gänzlich unabhängig sind, und wo Vulkane mit Spalten in Vergesellschaftung zu stehen scheinen, resp. sich damit verbinden lassen, muß es doch wohl fraglich sein, welche von beiden Erscheinungen als Ursache, und welche als Wirkung angesehen werden darf. Wenn eine gegebene Spalte das darunter befindliche Magma infolge von Druckentlastung flüssig machen kann, so dehnt sich dieses aus und dringt empor. Aber dadurch würden ja die tiefer liegenden Teile des Glutbreies wieder unter hohen Druck gesetzt und erhielten ihre frühere Zähflüssigkeit wieder. „Wenn also nichts anderes geschähe, so würde das unter relativ niederem Druck stehende ziemlich leichtflüssige Magma in dem Risse von einem nahezu starren Körper umgeben sein und sich ungefähr wie die Flüssigkeit in einer Flasche verhalten. Durch Abkühlung würde das Magma erstarren und der ganze Riß zugestopft sein. Kein Vulkanismus würde auf diese Weise zustande kommen."

Nur das Vorhandensein enormer Mengen von Gasen, insbesondere von Wasserdampf, bewirkt die Eruption. Ist Wasser im Magma gelöst, so muß es, sobald es unter einen anderen, als den kritischen Druck gelangt, in Blasenform aufsteigen. Letzerer ist gleich 200 Atmosphären, und würde in einer Magmasäule 740 m unter ihrem mit der Lufthülle der Erde in Verbindung stehenden oberen Ende zu finden sein.

In 740 m Tiefe könnte Wasser in flüssigem Zustande nur dann vorhanden sein, sofern die Temperatur unter 365 ° C., das ist die kritische, läge. Nun besitzt das Magma aber eine Hitze von mindestens 1200 ° C., und darum werden auch alle oberhalb der erwähnten 740 m im Magma eingeschlossenen Wassermengen verdampfen müssen und als Gasblasen zur Oberfläche heraufkommen. Dadurch entstehen plötzliche Entlastungen, das Magma wird hinausgeschleudert, so wie bei einem Geysir etwa, und zwar unter explosionsartigen Erscheinungen, die ja auch tatsächlich bei den vulkanischen Eruptionen vor sich gehen! Am Ende des Ausbruchs muß aber alles Wasser wieder in Gleichgewicht mit der im Risse stehenden Lavasäule sein, und diese erstarrt allmählich wieder. Es könnte demnach keine neue vulkanische Erscheinung mehr an derselben Stelle stattfinden, falls nicht neue Risse sich bilden würden.



Der Krater des Vesuv im Juli 1880.
(Nach einer Photographie von Sommer aus Neapel.)

Nur die stetige Zufuhr von Wasser zum Magma kann erklären, wieso vulkanische Eruptionen lange Zeiträume hindurch sich an denselben Stellen zu wiederholen vermögen, und es ist Meerwasser, das zu dem in einer gewissen Tiefe unter dem Meeresboden befindlichen Magma hindurchsickert. Der Meeresboden mit seinen Kapillaren verhält sich wie eine semipermeable Membran, deren Poren weit genug sind, um flüssiges oder gasförmiges Wasser durchzulassen. Und nur letzteres kann zum Magma dringen, und die alte Vorstellung vom Eindringen flüssigen Wassers muß korrigiert werden. Denn der Gesteinsbrei besitzt ja eine Temperatur von weit mehr als 356 ° C., der kritischen für das Wasser, und darum muß in der festen Erdkruste schon weit oberhalb des Magmaniveaus eine solche Wärme vorhanden sein. Sobald der Wasserdampf durch Kapillare mit dem Magma in Verbindung steht, wirkt letzteres auf den ersteren etwa wie flüssiges Chlorcalcium auf Wasser, und dieses vermag den sehr viel höheren Druck der ihm vom Glutfluß entgegengebracht wird, zu überwinden.

Das zum Magma gekommene Wasser wirkt hier als eine zur Kieselsäure des Glutbreies relativ kräftige Säure, es finden infolgedessen allerlei Zersetzungen statt, und dadurch gerät das Magma in einen leichtflüssigen Zustand. Daneben jedoch bleibt immer noch

etwas Wasser im Magma frei, das aber nach den Raoultschen Gesetzen nur einen sehr niedrigen Dampfdruck besitzen kann. Bis dieser Dampfdruck so sehr angewachsen ist, wie der Druck der überlastenden Wassersäule, von der Meeresoberfläche ab gerechnet, kann immer noch mehr Wasser aufgenommen werden, und das hat wiederum ein Anschwellen des Magmas und eine Volumenzunahme desselben zur Folge, und zwar etwa von einem dem Volumen des hinzugetretenen Wassers gleichgroßen Betrage.

Auch wird das Magma durch die Wasseraufnahme sehr viel leichtflüssiger und fängt nun an, nach allen Seiten hin einen Druck auszuüben und im Vulkanschlot aufzusteigen. Auf diesem Wege wird es abgekühlt, sein Wasser verliert nach und nach seine starke Säurekraft, die Kieselsäure gewinnt wieder die Oberhand, treibt das Wasser aus den Hydraten aus, der Druck des Wasserdampfes steigt trotz der Temperaturabnahme, und sobald die wasserhaltigen Teile des Glutbreies unter genügend niedrigen Druck gekommen sind, also nahe der Oberfläche, gehen die Dampfexplosionen los. Der Umstand, daß bei vielen vulkanischen Eruptionen dem explosiven Hinausschleudern der losen Massen (Aschen, Sande, Lapilli u. s. f.) ein ruhiger Lavaerguß folgt, läßt sich mit einer bedeutend verminderten Abkühlung des Magmas im

Vulkanschlot gegen das Ende des Ausbruches erklären.

Nach der Theorie von Arrhenius würde der Vulkan im Grunde genommen auch nichts anderes sein, als ein Geysir. Beiden strömt Wasser zu, in dem ersteren wird dieses allerdings größtenteils chemisch gebunden. Bei beiden steht das Wasser, resp. das wasserhaltige Magma unter höherem Druck, als der maximalen Spannkraft des Wasserdampfes entspricht, und darum ist auch so lange keine Explosion möglich, bevor nicht beim Herauftreiben des Wassers, resp. des Magmas im Schlot derjenige Punkt erreicht ist, wo der Druck des Wasserdampfes den äußeren Druck überwinden kann.

Es ist mit Recht von anderer Seite (Großer in Bonn) hervorgehoben worden, daß das von Arrhenius angenommene Magma so beschaffen sein würde, um sich seinen Weg zur Erdoberfläche selbständig, also ohne die Notwendigkeit einer präexistierenden Spalte zu bahnen, wenn der schwedische Gelehrte diese Folgerung auch nicht selbst daraus gezogen hat.

Der Vulkan ist ein Apparat, vermittelst welchem das Wasser seinen nach oben gerichteten Lauf aus den Tiefen des Planeten zu dessen Oberfläche vollführt, und zwar durch den größten Teil der festen Erdrinde hindurch. Das ist die Definition, welche

Stanislas Meunier in neuester Zeit vom Vulkan gegeben hat. Dieses Wasser ist aber der Ansicht des Pariser Gelehrten nach kein juveniles, sondern solches, welches die Gesteine der Tiefe imprägniert, also Bergfeuchtigkeit. Unterirdische Klüfte und Spalten durchziehen die Erdfeste, und durch diese hindurch können Teile der Erdrinde aus den oberen Regionen, wo die Gesteine noch gehörig von Wasser durchfeuchtet sind, in jene tieferliegenden hinabstürzen, in welchen dieser Umstand nach Meunier nicht mehr möglich ist, weil die in diesen Zonen des Planeten herrschende Temperatur das nicht mehr erlauben würde, dafür aber das Magma feurigflüssig flutet. Diese in die Tiefe gelangten Teile der oberen Krustenlagen können neben Wasser selbstverständlich noch andere Substanzen enthalten, so beispielsweise Steinsalz (Chlornatrium). Beim Zusammentreffen der einstürzenden Massen mit dem Magma erfolgt eine Explosion, durch welche ein Ausbruch des Magmas bewirkt wird, und es ist dann erklärlich, auf welche Weise die bei einer vulkanischen Eruption austretenden gas- und dampfförmigen Stoffe, wie die Chlornatriumdämpfe der heißen Fumarolen, erzeugt worden sind. Die Abbildung Taf. — Fig. — erläutert auf schematische Art, wie Meunier sich diese Vorgänge denkt.

Die vulkanischen Eruptionen lehren uns, sagt

der Ebengenannte, daß das Aufsteigen der Laven bis zum Gipfel des Ätnas, also bis zu 3000 m Meereshöhe, in jeglicher Weise mit den Erscheinungen vergleichbar ist, die eintreten, sobald wir eine aufrecht stehende Flasche Champagner oder Sodawasser rasch entkorken. Genau so wie bei diesem oder beim Schaumwein nehmen die Gasblasen an Durchmesser zu, je näher sie dem oberen Rande der Flüssigkeit kommen, die sie mit sich reißen. Und es kommt sogar der Augenblick, wo im unteren Teile der Flasche fast alles Gas entwichen ist, so daß, wenn die Flüssigkeit verfestigt werden könnte, man keine Spur desselben mehr finden würde, ein Umstand, der die Kompaktheit der unteren Teile eines Lavenergusses gegenüber dem blasigen Zustand seiner oberen Partien genügend erklären dürfte.

Eine noch von manchen Forschern geteilte Ansicht ist, daß bei Veränderungen innerhalb der festen Erdrinde, also infolge einer Schollenbewegung, durch den Druck der absinkenden Scholle auf das Magma dieses letztere an die Erdoberfläche hinaufgepreßt würde. Diese Lehre setzt natürlich eine ziemlich regelmäßig unter der Erstarrungsrinde verteilte Zone feurig-flüssigen Materials voraus. Der Pariser Professor A. de Lapparent verficht in seinem Lehrbuch der Geologie diese Anschauung, ausgehend von

der Annahme, daß in etwa 60—70 km Tiefe die feste Rinde des Planeten allmählich in eine Zone übergehen muß, in welcher die Materie eine ausnehmend hohe Temperatur zeigt. Bricht oder faltet sich nun die Erdkruste an einem ihrer schwächeren Teile, so werden eine Anzahl von Klüften entstehen, auf denen der Glutfluß aufsteigen kann, und zwar um so mehr, als durch die Faltung oder den Bruch der Druck auf der feurigen Masse vermindert wird. Diese wird flüssiger, wird jedoch nicht überall einen Auftrieb erleiden können, sondern nur dort, wo die Klüfte so weit geöffnet blieben, um das zu gestatten. Auf solche Weise wird auch die Vergesellschaftung der Vulkanreihen mit den Linien oder besser Richtungen des geringsten Widerstandes in der Erdfeste erklärt, eine festgestellte Tatsache, und noch ferner der Umstand, daß die Feuerberge stets auf dem hohen, nicht aber auf dem abgesunkenen Rande des Bruches aufsitzen. Das ist, um einige Beispiele anzuführen, in Island und bei den den Stillen Ozean umstehenden Vulkanen der Fall. Es ist einesteils verständlich, daß der abgesunkene Teil der Erdfeste die unter ihm befindlichen Magmamassen zusammendrückt, statt ihnen einen Auslaß zu gewähren, und anderenteils, daß die Laven an der dem Faltungsprozesse am stärksten unterworfen gewesenen Stelle austreten müssen, also

am oberen Rande des dadurch entstandenen Bruches, resp. der Zerrüttungszone. Denn hier kommt in erster Linie die Verminderung des auf dem Magma lastenden Druckes, also seine größere Verflüssigung zum Ausdruck. Die Ursache dieses Zusammenfaltens der Erdrinde ist in dem Umstand zu suchen, daß bei zunehmender Erkaltung unseres Planeten der glutflüssige innere Kern sich immer mehr zusammenzieht und die feste Erdkruste demnach das Bestreben haben muß, sich demselben anzupassen, sich daher falten und biegen muß, genau so, wie die Schale eines eintrocknenden Apfels sich runzelt, weil das Fleisch der Frucht nach und nach an Umfang verliert und zu klein für die erstere wird. Daher wird die Magmazone in der Tiefe eine vielfach eingebuchtete, der Erdoberfläche bald näher bald entfernter stehende Linie bilden, und überall, wo sie der letzteren näher kommt, dürfte Vulkanismus sich kundgeben. Es ist berechnet worden, daß, wenn der 510 Millionen Quadratmeilen Flächenraum besitzende Erdball sich derartig zusammenzöge, um die glutflüssige Zone seines Inneren nur um einen Millimeter zu verkleinern, das vollauf genügen würde, um 510 Lavaausbrüche von je 1 cbkm Inhalt hervorzubringen. Lavaergüsse von $^1/_3$ cbkm Inhalt gehören aber schon zu den großen Ausnahmen!

Wir kommen nunmehr zu einer Anschauung, die

in neuester Zeit sehr viel von sich reden macht und im Vordergrund der vulkanischen Kontroversen steht, zu der Lehre Stübels. Mit den Ansichten dieses Gelehrten haben wir uns schon einmal zu befassen gehabt, anläßlich der „Panzerdecke der Erde", die von ihm in die Wissenschaft eingeführt wurde (S. 32). „Als Ursache aller vulkanischen Tätigkeit ist, der Kant-Laplaceschen Hypothese streng Rechnung tragend, der Erkaltungsprozeß zu betrachten, welchen die glutflüssige Materie des Erdkörpers durchlaufen hat und noch durchläuft, um endlich in einen starren Zustand überzugehen. Mit der Erstarrung der Materie erlischt die vulkanische Kraft:

Die glutflüssige Materie ist demnach selbst die Trägerin der vulkanischen Kraft."

Die notwendige Folge des Erkaltungsvorganges ist nach Stübel die zeitweilige Ausstoßung glutflüssigen Magmas aus der Erde nach ihrer Oberfläche; sie ist eine unbestreitbare Tatsache, bewiesen durch die direkten Beobachtungen. Welche physikalischen und chemischen Vorgänge diese hauptsächlichste aller Ausbruchserscheinungen nach sich ziehen, das ist zur Zeit noch nicht mit Sicherheit festgestellt; sehr wahrscheinlich jedoch ist der Grund hierfür in Volumenveränderungen zu suchen, wie sie bei jedem Erkaltungsprozesse vor sich gehen.

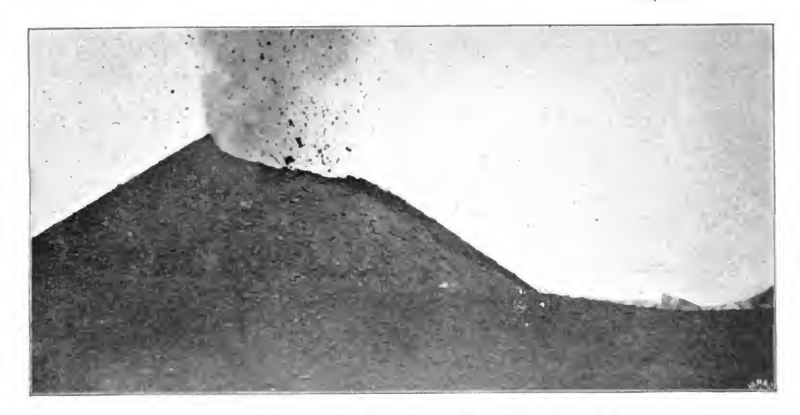


Fig. 1. Der Gipfelkrater des Vesuv im Jahre 1895. (Zu Seite 212.)
(Aus: Deecke, Italien.)

Fig. 2. Adventiv- oder Parasitenkegel an den Gehängen des Aetna. (Zu Seite 215.)
(Aus: Deecke, Italien.)

Als wohlbegründet läßt Stübel gelten, daß mit dem Übergange der Materie aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand eine Volumenverminderung stattfindet, aber mit größter Wahrscheinlichkeit darf auch angenommen werden, daß im Verlaufe des Erkaltungsprozesses des glutflüssigen Magmas auch eine Phase der molekularen Volumenvergrößerung eintritt, verbunden mit einer gewaltigen und sich stetig steigernden Kraftäußerung. Gerade diese Phase ist es, welche das zeitweise Hervorbrechen glutflüssigen Magmas bedingt. Mit anderen Worten: diese von Stübel angenommene Phase molekularer Volumenvergrößerung ist die treibende Kraft des Vulkanismus, die Triebfeder in seinem Uhrwerk. Noch ein weiterer Faktor bei diesem Hervorbrechen der glutigen Massen kommt aber in Betracht, und zwar in nicht geringerem Maße, der überaus große Gasgehalt des Gesteinsbreies. Wenn nach allmählicher Schaffung eines Auswegs der auf dem Magma der Tiefe lastende Druck verringert wird, ist der Effekt des erwähnten Gasgehaltes ein Aufschäumen der Massen, und zwar trotz ihres hohen spezifischen Gewichts. Diese sind ja durch und durch mit Gasen durchsetzt. Die Fähigkeit des plötzlichen Aufschäumens hat andererseits ein ebenso plötzliches Insichzusammensinken im Gefolge, sobald ein Teil der Gase von der

Materie abgegeben werden kann. Die Expansionsfähigkeit fällt aber auch für den inneren Bau der Erstarrungskruste darum in bedeutender Weise ins Gewicht, weil sie sofort eintreten wird, wenn der auf dem magmatischen Herde lastende Druck eine Verminderung erleidet. Dadurch ist die Möglichkeit, daß durch das Ausstoßen von Magma Hohlräume im Erdinneren entstehen können, aber vollständig ausgeschlossen. Ein ferneres Erfordernis der Expansionsfähigkeit ist das infolge des in der Tiefe wirksamen unermeßlichen Druckes höhere spezifische Gewicht des Magmas, als dasjenige seines Erstarrungsproduktes, auch wenn dessen Gefüge noch so dicht erscheinen mag.

Wir sahen soeben, daß die Annahme einer Volumenverminderung im Erkaltungsprozesse des Magmas auch Stübel als wohlbegründet erscheint; auch daß dieselbe zum Ausgangspunkte geotektonischer Hypothesen geworden ist, die trotz mannigfachen Einspruchs heute noch Geltung haben, wird, so meint der Genannte, der Wissenschaft gewiß nicht zum Vorwurf gereichen, am wenigsten in einem Falle, wo es sich, wie hier, leider nur darum handeln kann, Vermutungen möglichst glaubwürdig begründet zu sehen.

„Demungeachtet steht die Annahme einer ausschließlichen Volumenverminderung im Erkaltungsprozesse des Magmas nicht einmal so unerschütterlich

fest, wie es die übliche Darlegung jener Hypothesen uns glauben machen will."

Das wird von Stübel folgendermaßen begründet:

Viele Flüssigkeiten und Schmelzmassen erleiden bei ihrer allmählichen Abkühlung keineswegs eine im Verhältnis zur Temperaturerniedrigung, die zum Ausdruck kommt, fortgesetzte Verminderung ihres Volumens, sondern erfahren im Gegenteil, bei einer bestimmten Temperatur angelangt, trotz fortschreitender Erkaltung wieder eine Volumenvermehrung. So bekanntlich das Wasser, das bei + 4° seine größte Dichtigkeit bekommt, und dann, unter diesem Wärmemaß angekommen, wieder an Volumen zunimmt bis zur Änderung seines Aggregatzustandes vom flüssigen zum festen.

„Aber auch an geschmolzenen Massen, besonders an Metallen, ist der ungleichmäßige Verlauf, welchen die Kurve der Volumenänderung zeigt, schon längst auf das bestimmteste nachgewiesen worden. Ebenso ist es dem Chemiker und Hüttenmann bekannt, daß geschmolzenes Wismut kurz vor seinem Erstarren eine sehr bedeutende Ausdehnung erfährt. Starres Eisen schwimmt auf flüssigem. Eines der auffallendsten Verhalten zeigt bekanntlich das Brosesche Metallgemisch." Dieses wird bei 93,7° flüssig, dehnt sich bei einer Erwärmung bis auf 44° regelmäßig aus, zieht

sich dann aber von hier ab bis zu 69° wieder derartig zusammen, daß bei dieser Temperatur das Maximum seiner Dichtigkeit, sein Volumen weit kleiner ist, als bei 0°. Von nun ab erfolgt wieder eine sehr rasche Ausdehnung, und sein Volumen nach der Schmelzung ist ebenso groß, als hätte es sich bis zu dieser Temperatur regelmäßig und ebenso ausgedehnt, wie zwischen 0° und 44°.

Auch bei gewissen Elementen kommen ähnliche Dinge vor, ferner dürfte die langsamere oder rascher vor sich gehende Erkaltung der Masse die Größe der Volumenänderung beeinflussen. Dann hat sich gezeigt, daß in der flüssigen Glasmasse bei ihrem Übergang in den festen Zustand zwar eine Zusammenziehung statthat, daß diese aber während der Dauer des Erkaltungsprozesses nicht gleichmäßig vor sich geht, sondern daß sie am stärksten, beziehungsweise ausschließlich, beim Übergang der Glasmasse vom dünn- in den zählflüssigen Zustand auftritt.

Allerdings, so sagt Stübel, alle diese Erscheinungen belehren uns immer noch nicht darüber, was beim Magma erfolgt, wenn es aus den Tiefen des Erdkörpers aufsteigt und erkaltet. Nur darüber erhalten wir mit voller Gewißheit Aufschluß, „daß wir durchaus nicht berechtigt sind, auf einen einfachen, sich gleichmäßig abspielenden Erkaltungsvorgang inner-

halb der Masse, auf eine einfache Zusammenziehung derselben zu schließen.“

Was da in den Schloten der Feuerberge vor sich geht, wenn das glutflüssige Gestein aufsteigt, das wird wohl für immer dem Menschen ein Geheimnis und seinen Beobachtungen entzogen bleiben. Und auch die Dinge, die sich in der weißglühenden Lava abspielen, wenn sie aus den Eingeweiden der Erde hervorquillt, das läßt sich der ungeheuren Hitze wegen, die dabei ausgestrahlt wird, wohl niemals feststellen. Aber dennoch sind die Wahrnehmungen, die man hier und da bei großen Lavaergüssen gemacht hat, wenn auch nur aus großer Entfernung, nicht ganz wertlos geblieben, denn man konnte sehen, daß Schollen fester Lava auf der flüssigen Glutmasse schwimmen können, wie Eis auf Wasser. Hieraus würde aber folgen, daß feste Lava wirklich spezifisch leichter ist, als flüssige, also bei ihrem Übergang aus dem flüssigen Aggregatzustand in den festen eine Volumenvermehrung erfährt. Wenn auch nur in den seltesten Fällen bei derartigen Beobachtungen Irrtümer und Täuschungen ausgeschlossen erscheinen dürften, so kann man solche mehrfach beglaubigte Dinge doch nicht von der Hand weisen, ohne dieselben gewissenhaft geprüft zu haben. Zu diesen gehören die von Carl Friesach auf Hawaii im Kilauea-Krater gemachten Wahrnehmungen, die von Stübel

angezogen werden und das Schwimmen eines vom Rande des Kraters in den dortigen Lavasee hineingestürzten Felsblockes auf dem Glutmeer beschreiben.

Weitere Stützen für seine Ansicht findet der Dresdener Gelehrte darin, daß man bei künstlichen Schmelzmassen ähnliche Erfahrungen machen konnte. „Schlackenflüsse, die aus Hochöfen abgestochen werden und in ihrer chemischen Zusammensetzung den Laven ziemlich nahe stehen, bekunden ganz die gleiche Erscheinung. Bei solchen künstlichen Schmelzmassen ist die Fähigkeit der Erstarrungsrinde, auf der noch wenig unter Weißglut abgekühlten Flüssigkeit zu schwimmen, so groß, daß selbst freischwimmende Stücke nur durch Ausübung eines starken Drucks untergetaucht werden können und bei der Aufhebung desselben sofort wieder an die Oberfläche emporschnellen.“ Nicht etwa, daß diese erstarrten Stücke poröser wären, als die übrige Masse des Schmelzflusses; ein derartiger Strukturunterschied zwischen beiden Teilen besteht eben nicht. Man wird darum auch hier eine Volumenvergrößerung bei der Erstarrung zugeben müssen, und zwar eine bleibende, und unzweifelhaft durch Wärmeabgabe hervorgerufen „und die Folge einer damit verbundenen molekularen Umlagerung, einer Auskristallisation gewisser chemischer Verbindungen, welche in ihrer Ausbildung zu einer festen,

dicht verwachsenen Masse kleiner, mehr oder weniger sichtbarer Mineralindividuen ein größeres Gesamtvolumen beanspruchen, als vordem in ihrer feuerflüssigen Lösung."

Die eigentliche Ursache des Eruptionsphänomens ist also weniger eine Volumenverminderung, die bisher als Folge des Erkaltungsvorganges angenommen wurde, sondern vielmehr eine Volumenvermehrung. Ob dieser letztere selbst mit einer Verminderung oder mit einer Vergrößerung des Volumens abschließt, darauf kommt es nicht einmal an, von Gewicht für die Lehre Stübels ist in allererster Linie der Umstand, ob während des Erkaltungsprozesses überhaupt eine Volumenzunahme, eine Schwellung des Magmas stattfinden kann, oder nicht, und zwar in der Tiefe des magmatischen Herdes, einerlei ob plötzlich oder langsam. Auch schon ein vorübergehendes Eintreten dieser Erscheinung genügte nach dem Genannten schon vollständig, um die Tätigkeit und den Bau der Vulkane besser zu erklären, als eine der übrigen Hypothesen dies vermöchte.

Wie schon früher gesagt und erläutert worden ist, nimmt Stübel kein gleichmäßig im Inneren der Erde verteiltes Magmareservoir an, sondern eine größere Anzahl von Herden, deren Entstehung mit der Bildung der Panzerdecke zusammenhängt (S. 40). Wir

rufen uns diesen Umstand hier ins Gedächtnis zurück!

Die Stübelsche Lehre hat vielfache Anerkennung gefunden, und es läßt sich nicht leugnen, daß dieselbe, falls die Voraussetzung, von welcher sie ausgeht, die Volumenzunahme, die Schwellung des Magmas im Verlaufe des Erkaltungsprozesses, sich als richtig erwiese, einen großen Schritt vorwärts in der Vulkangeologie bedeuten würde, weil sie die hier in Betracht kommenden Erscheinungen in natürlicherer und befriedigenderer Weise erklären könnte, als alle anderen Hypothesen, von denen wir im Vorhergehenden die wichtigsten kennen gelernt haben. Mit dieser Volumenzunahme steht und fällt aber die Expansionslehre.

Nun liegt auf der Hand, daß eine Theorie von so einschneidender Wichtigkeit, eine Umwertung aller bisher im Kurs befindlichen vulkanischen Werte — wir werden im folgenden Abschnitt noch weitere Schlüsse und Anschauungen zu behandeln haben, die Stübel aus seiner Lehre gezogen hat —, neben großem Beifall auch lebhaften Widerspruch hervorrufen mußte. Zu den schwerwiegendsten Einwürfen, die Stübel bisher zu gewärtigen gehabt hat, gehören diejenigen, welche vor Jahresfrist ein österreichischer Gelehrter, der sich schon seit vielen Jahren mit Schmelzflüssen von Mineralien und Gesteinen auf experimentellem

Wege beschäftigt hat, Professor Cornelio Doelter in Graz gemacht hat. Die Stübelsche Annahme, so meint er, steht teilweise wenigstens mit den bisherigen Erfahrungen im Widerspruche und müßte wohl vor allem experimentell bewiesen werden. „Der Umstand, daß solche Experimente überaus schwierig sind, berechtigt jedoch keineswegs dazu, diese zu verwerfen, denn nur das Experiment kann die Grundlage zu solchen theoretischen Erörterungen bilden, da die direkte Beobachtung der natürlichen Vorgänge ausgeschlossen ist.“ Die Vergleiche zwischen Schmelzversuchen, die im Laboratorium, im kleinen und an längst erstarrten Eruptivgesteinen (Basalten und Trachyten) angestellt werden, können uns, so hat es Stübel ausgesprochen, keinen unbedingt richtigen Aufschluß über den früheren Schmelzpunkt dieser Felsarten und über ihr Verhalten bei ihrem erstmaligen Erstarrungsprozesse geben, denn die Gase, die damals eine bedeutende Rolle dabei spielten, fehlen ja, und darum kann die erneute Schmelzung unter sehr veränderter Erscheinung vor sich gehen. Demgegenüber gibt Doelter den zwischen dem Magma und den Schmelzflüssen im Laboratorium bestehenden Unterschied zwar zu, betont aber, daß diese letzteren den natürlichen Magmen sehr nahe stehen und ihr Verhalten bis zu einer gewissen Grenze dem des vulka-

nischen Gesteinsbreies sehr ähnlich sei. „Gerade aber bei den basaltischen Magmen dürfte der Unterschied am geringsten sein, wie die Synthesen zeigen.“

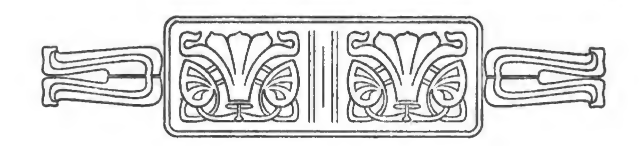
Noch weniger aber will Doelter den Einwurf gelten lassen, Experimente im kleinen seien nicht maßgebend, „denn es ist doch klar, daß, abgesehen von einigen zumeist vermeidbaren Störungen der Laboratoriumsversuche, das Verhalten im kleinen wie im großen mehr oder weniger übereinstimmen muß. Gerade neuere Theorien, welche auf Hypothesen beruhen, die durch Beobachtung allein nicht überzeugend sind, bedürfen der experimentellen Bestätigung.“

Doelters experimentelle Untersuchungen sind keine günstigen für die Lehre Stübels gewesen. Dieselben ergaben dasselbe, was schon vor dem Grazer Gelehrten durch frühere Experimentatoren festgestellt worden war, ein Zusammenziehen der Lava beim Erstarren, und auch die Bemerkungen, die er über die Beobachtungen an Lavaströmen selbst macht, gipfeln darin, daß sich aus allen diesen Dingen kein sicherer Schluß auf ein Schwimmen oder Sinken der festen Lava ziehen lasse, denn es dürfte dies von der Porosität der Lava abhängen. Auch sind diese Beobachtungen von Fehlerquellen nicht frei. „Indessen könnte es,“ so schließt Doelter seine Darlegungen, deren Resultate an Mineralien und Gesteinen (Olivin, Spinell, Pyrop, Augit



Bimssteinfelder an der Nordostseite des Krakatau, gebildet durch den Ausbruch im Jahre 1883.
(Nach Photographie.)

u. s. f.; Limburgit, Ätnalava, Leucitit, u. s. f.) angestellt wurden, „falls das Erstarren unter hohem Drucke vor sich ginge, möglicherweise doch denkbar sein, daß sich hierbei die Verhältnisse änderten. Sehr erwünscht wären genaue, mit Berücksichtigung aller Fehlerquellen durchzuführende Versuche am Vesuv, oder noch besser am Kilauea, aber nur solche, und nicht approximative Bestimmungen können zum Ziele führen!“



Fünfter Abschnitt.

Der Mechanismus des Vulkans.

b) Der äußere Teil der Maschine, der Berg.

Der vulkanische Herd und die Tiefe seiner Lage. Lorenzos Versuche, diese letztere zu ermitteln. Definitionen des „Vulkans“. Maare. Das Aufschütten des Vulkankegels. Puy-Typus. Vesuv-Typus, Strato-Vulkan, Hawaii-Typus. Caldera und Barranco. In die Luft geblasene und in die Tiefe gestürzte Vulkanberge. Somma und Somma-Typus. Konzentrische und exzentrische Vulkane. Veränderlichkeit in der Höhe des Berges und in der Ausbildungsweise seines Kraters. Gipfel- und Seitenausbrüche der Lava. Adventivkegel. Spaltenergüsse. Plateau- oder Spalten-Typus. Die Laven und ihre Natur. Tiefen- und Ergußgesteine. Temperatur, Ausbildungsformen und Größen der Lavaströme. Flammen. Schlammströme der Vulkane. Schlammvulkane. Homogene Vulkane. Staukegel. Laspeyres' Untersuchungen an den Lavakuppen des Siebengebirges. Die Felsnadel im Krater des Pelé. Der Bau der Vulkanberge nach Alphons Stübel. Monogene und polygene Berge. Caldera-Berge. Der vulkanische Doppelberg in seinen Beziehungen zum peripherischen Herd. Deckenartige Ausbreitungen des Magmas. Die Mondvulkane sind den irdischen genetisch gleichwertig. Deckenartige Ausbreitung ist die eigentliche normale Ablagerungsform glutflüssigen Magmas.

Die Maschine des Vulkans haben wir in den vorhergehenden Abschnitten bereits in einigen Teilen kennen gelernt. Von dem Behälter, welcher die treibenden Kräfte des Vulkanismus beherbergt — wenn wir

uns nicht lediglich auf den Standpunkt der Erdkontraktion und der damit verbundenen Vorgänge als Motoren der Eruption stellen —, ist schon da und dort die Rede gewesen und gezeigt worden, daß man sich diesen Behälter, wir könnten auch sagen den Kessel der Maschine, in sehr verschiedener Weise vorstellen kann. So entweder als eine gewaltige, unterhalb der festen Erdrinde in den Tiefen des Planeten flutende Zone glutflüssiger Materie, aus der alle Vulkane gleichmäßig schöpfen, oder als lokalisierten, teils gänzlich vom noch glühenden Erdkern abgeschlossenen, teils mit diesem vielleicht noch in Verbindung stehenden Herd für jeden Vulkan, resp. für jede Vulkangruppe, ein schon von Athanasius Kircher ausgesprochener und auch sonst hin und wieder aufgetauchter Gedanke, den in neuester Zeit Alphons Stübel wieder, wenn auch in etwas anderer Weise zu verteidigen gesucht hat.

Auch von der Tiefe, in welcher sich die magmatische Masse befinden soll, ist schon etwas gesagt worden. Wir sehen, daß beispielsweise Branco für das Maargebiet von Urach einen in verhältnismäßig geringer Tiefe unter der Erdoberfläche befindlichen Schmelzherd angenommen hat, bei welcher Annahme ihm die im Bohrloch von Neuffen beobachtete geringe geothermische Tiefenstufe wesentlich zu Hilfe kommt. „Daß hier die Erdrinde viel dünner als an anderen Orten

gewesen sein, daß der Schmelzfluß sich hier der Erdoberfläche stark genähert haben muß, das ist in hohem Grade wahrscheinlich." Auch für andere ausgeblasene Vulkanschlote zieht Branco ähnliche Verhältnisse herbei. Er sagt: „Da man nun eine derart flache Lage nicht für einen zentralen Schmelzherd annehmen kann, so wird man dahin geführt, mindestens für die in Rede stehenden vulkanischen Gebiete zahlreiche, kleine, isolierte, flachliegende Schmelzherde vorauszusetzen." Das kann auf die von Stübel gewollte Weise geschehen, oder man könnte nach Branco auch daran denken, „daß sie (die Schmelzherde) Ausläufer des großen zentralen Herdes seien, die unter diesen vulkanischen Gebieten ja in ein besonders hohes Niveau hinaufreichten", Ideen, die auch Pilar in Agram schon vor mehr als zwanzig Jahren vertrat, worauf der Berliner Gelehrte hinweist.

Ratzel ist ebenfalls der Meinung, daß glutflüssige Massen in der Erdrinde selbst anzunehmen seien, ebenso unregelmäßig verteilt, wie die Ausbrüche an der Erdoberfläche, und, wie der Schmelzpunkt der Laven das verlangt, kaum tiefer als 40—60 km, „Lavaherde, rings umschlossene Seen, die in nicht großer Tiefe so liegen, daß sie wohl miteinander in Fühlung kommen können, aber doch nicht notwendig voneinander abzuhängen brauchen."

Man hat auch schon versucht, Methoden zu ersinnen, vermittelst welcher die Tiefen vulkanischer Herde genauer, als nur aus der für den Schmelzfluß nötigen Temperatur berechnet werden könnten. Dies hat der italienische Forscher Lorenzo in allerjüngster Zeit getan, indem er von der Masse des Materials ausgegangen ist, das den Schlot ursprünglich ausfüllen mußte und bei der Eruption herausbefördert wurde. Das erwähnte Material befindet sich jetzt an der Erdoberfläche in der Gestalt von Tuffen und Aschenkegeln, und wenn man für einen bestimmten Ausbruchspunkt die Menge des ausgeworfenen Gesteins einerseits, andererseits aber den Durchmesser des Vulkanschlotes kennt, kann man daraus auch die Länge dieses letzteren berechnen und feststellen, bis in welche Tiefen er hinabreichen müßte, um die herausgeschleuderten Massen aufnehmen zu können. Lorenzos Untersuchungen ergaben für den Herd des Monte Nuovo 1248 m Tiefe, und für noch andere Vulkane aus den Phlegräischen Feldern die Werte von 1000 bis 2500 m. Die in den Schlot wieder zurückgefallenen Auswurfsmassen sind dabei, weil unbekannt, nicht berücksichtigt worden, und da dieselben in vielen Fällen zweifellos recht beträchtlich gewesen sind, so ist der Wert solcher Berechnungen, selbst wenn dieselben so genau wie nur möglich angestellt worden sind, für die Wissenschaft

immerhin ein verschwindend kleiner, ganz abgesehen von dem Umstand, daß zuweilen nur der allergeringste Teil der vom Vulkan geförderten Auswürflinge in der Nähe des Schlotes niederfällt, sondern oft recht weit fortgeschleudert und von den atmosphärischen Strömungen weggetragen wird.

Bei dem Versuche, die Tiefe des Vesuvherdes zu ermitteln, hat Lorenzo auch die fremden, von diesem Vulkan ausgeworfenen Einschlüsse in Betracht gezogen, also die Gesteinsbrocken, die aus dem festen Untergrunde des Berges von dem aufsteigenden Magma losgebrochen und mit an die Erdoberfläche gebracht worden sind, und zwar solche aus tertiären, der Kreide und der Trias zugehörigen Ablagerungen. Die triassischen Auswürflinge werden, weil stark durch die glutigen Massen umgewandelt, als aus der unmittelbaren Nähe des Magmaherdes mit nach oben gebracht angenommen. Die ganze Schichtenfolge der genannten Sedimente mag etwa 3000 m Mächtigkeit besitzen, und in einer solchen Tiefe ungefähr soll das Magmareservoir des Vesuv fluten. Lorenzos Anschauungen sind aber von Sabatini, als von irrigen Voraussetzungen ausgehend, lebhaft bekämpft worden.

Wenn man, wie vorhin gezeigt worden ist, über die treibende Kraft im Mechanismus der Vulkane und über die Tiefen, in denen sie ihren Sitz hat, recht ver-

schiedener Ansicht sein kann, wenn darüber eine Reihe von Rastvorstellungen vorhanden sind, deren jede manches für sich und auch manches wider sich hat, so sollte man doch meinen, daß wenigstens über die äußeren, die an der Erdoberfläche befindlichen Teile der Maschine, über den eigentlichen Vulkan, einigermaßen Klarheit gebreitet sein würde. Leider ist das nicht der Fall! Denn wenn diese Bestandteile des Vulkanmechanismus unserer Beobachtung auch sehr viel zugänglicher sind, wenn wir hier sehen und greifen, und nicht nur zu glauben brauchen, so ist doch auch in dieser Beziehung der persönlichen Auffassungsweise noch so viel und so großer Raum gelassen, daß diese die mannigfaltigsten und sich zuweilen diametral entgegenstehenden Erklärungsversuche gezeitigt hat.

Suchen wir, bevor wir weitergehen, erst einmal festzustellen, wie der Begriff Vulkan von der Wissenschaft der Gegenwart definiert wird. Wir schlagen eines der vielgebrauchtesten Lehrbücher der Geologie auf, dasjenige von Credner, und finden in der vor wenigen Monaten erschienenen 9. Auflage: „Ein Vulkan ist ein der früheren Erdoberfläche aufgesetzter Berg, der durch einen Kanal mit der Erdtiefe in Verbindung steht oder gestanden hat, aus welcher das ihn aufbauende Material in glutflüssigem, zum Teil durch Gas- und Dampfexplosionen zerspratztem Zustande

emporgestiegen ist." Supan, der Geograph in Gotha, sagt in der im Frühjahr 1903 herausgekommenen 3. Auflage seiner „Grundzüge der physischen Erdkunde": „Wo zwischen einem Lavaherde und der Erdoberfläche durch einen Kanal eine Verbindung hergestellt ist, entsteht ein Vulkan." Gleiches spricht Lapparent aus, während, wie schon an anderer Stelle mitgeteilt worden ist, Stanislas Meunier vom Vulkan redet als von einem Apparat, vermittelst welches das Wasser seinen nach oben gerichteten Lauf aus den Tiefen des Planeten an dessen Oberfläche vollführt, und zwar durch den größten Teil der festen Erdrinde hindurch (S. 175).

Ratzels Meinung lautet: „So wie in der Entstehungsgeschichte des Vulkans die Öffnung in der Erde dem Berge vorangeht, so bleibt auch später diese Öffnung, sei es Spalte oder Krater, steiler Felskrater oder trichterförmiger Aschenkegel, das Wichtigste am Vulkanberg. Man kann mit Seneca sagen: „In ipso monte non alimentum habet, sed viam", d. h. so viel wie: der Vulkanberg ist nebensächlich im Verhältnis zur Vulkanöffnung, und wenn wir einen vulkanischen Berg finden, entscheidet nur die Verbindung mit der Tiefe darüber, ob es wirklich ein Vulkan ist. In dieser Öffnung liegt der Weg von der Ursache zu den Wirkungen der vulkanischen Tätigkeit."

Wir sind mit Ratzel — und Supan sagt ja dasselbe, resp. es liegt dieser Sinn in seinen Worten —, der Ansicht, daß es nicht auf den Berg, aber in erster Linie auf die Öffnung ankommt, daß der erstere durchaus nur nebensächlicher Natur ist. Betrachten wir uns einmal näher, wie diese Öffnung wohl entstanden sein kann.

Wenn wir uns auf den Boden der Ausblasungstheorie stellen wollen, so ist die Folgerung logisch, daß diese Öffnung das obere Ausgangsende der Röhre bilden muß, welche die magmatischen Massen ausgeblasen haben. Auf solche Weise sind die Maare entstanden, so wie Branco diesen Begriff umschrieben hat. Da die dem aufsteigenden Magma voraneilenden gasigen und dampfförmigen Massen am oberen Ende der ausgeblasenen Röhre und im Augenblick, wo sie von Druck befreit die Erdoberfläche erreichen, eine Explosion erleiden müssen, so entsteht an der Berührungsstelle der Röhre mit der Atmosphäre eine trichterartiges Gebilde, der Maarkessel oder Maartrichter, dessen größere oder geringere Ausbildung natürlich in erster Linie von der Heftigkeit der Explosion abhängen muß. „Aus jedem Maare wird sich bei Andauern der vulkanischen Tätigkeit ein Vulkan entwickeln können. Aber nicht jeder Vulkanberg braucht aus einem Maare hervorgegangen zu sein," meint

der Berliner Geologe, „zumal viele Vulkanberge sich auf Spalten, d. h. auf Bruchlinien der Erdrinde aufgebaut haben, welche den Schmelzmassen mehr oder minder ungehinderten Austritt gewährten. Diese Spalten mögen an der Ausbruchsstelle durch Gasexplosion erweitert worden sein, sind dann aber etwas ganz Anderes, als unsere röhrenförmigen Maarkanäle, welche sich unabhängig von Spalten bildeten."

Ob also ein derartiger durch die Explosion hervorgebrachter Kessel ein Maar im strengen Sinne des Wortes ist, oder nur eine maarähnliche Bildung, hängt lediglich davon ab, ob die Ausbruchsröhre zuvor ausgeblasen werden mußte, oder ob eine Spalte schon vorhanden war. Dies würde in den meisten Fällen recht schwer, wenn überhaupt zu entscheiden sein. Dann hat Branco diese Ansichten geäußert zu Zeiten, in denen er die ausgeblasenen Vulkanschlote immerhin noch als seltenere Erscheinungen ansah und dieser Lehre wohl noch nicht die allgemeinere Anwendung geben wollte, wie in der Gegenwart, in welcher die Präexistenz der Spalte überhaupt problematisch für ihn geworden ist. Jedenfalls, ob so oder so, würden die Maare das erste Entwicklungsstadium eines Vulkans, einen Embryonalvulkan darstellen, und letztere Bezeichnung ist auch vielfach auf diese Gebilde angewendet worden. Aber diese Erscheinung wieder-



Gipfelausbruch am Aetna, am 18. Mai 1886. (Nach Photographie.)



Seitenausbruch am Aetna, vom Monte Capriolo aus gesehen, am 17. Juli 1892.
(Nach einer Photographie von Mauro in Messina.)

holt sich auch in Arealen, woselbst vulkanische Tätigkeit sich schon früher entfaltet hatte, so beispielsweise bei typisch ausgebildeten Vulkanbergen, bei denen aus irgendwelchem Grunde die neuen Kraftäußerungen des Magmas sich nicht im Hauptkrater selbst geltend machten, sondern an den Flanken oder am Fuße des Berges, sich hier einen neuen Ausweg öffnend. Denn eine allmähliche Verschiebung des Sitzes der vulkanischen Kräfte läßt sich manchmal nachweisen. Ein gutes Beispiel hierfür bietet der Latial-Vulkan, wie Sabatini das Albanergebirge bei Rom genannt hat. Dieser ist ein Doppelberg, wie der Vesuv, mit einer mächtigen äußeren Umwallung, von der nur etwa zwei Dritteile erhalten geblieben sind, und die eine 20 km Durchmesser besitzende Basis hat. Der zerstörte Teil der Umwallung ist dem Westen zugekehrt, und auf der Linie ihres ehemaligen Verlaufes sind die Maare von Albano, von Nemi und etwas südwestlich davon abweichend dasjenige von Ariccia eingesenkt, die nacheinander, in der obenerwähnten Reihenfolge entstanden, indem der Sitz der Ausbruchstätigkeit sich, wie vorhin gesagt, vom Hauptkrater aber immer mehr nach Südwesten verzog, eine Wanderung, die sich auch in späterer Zeit noch fortgesetzt hat, wie Sabatini aus den in der Nähe der Meeresküste noch tätigen Fumarolen schließt.

Eine derartige Verschiebung des Ausbruchsortes zeigen ferner die Ciminischen Vulkane im Norden von Rom, woselbst solche Maare ebenfalls auftreten, welche im Verlaufe der Zeiten in rundliche Seen oder auch in sumpfige Niederungen umgewandelt worden sind, wenn der Eruptionsschlot nur kurze Zeit hindurch tätig war und dann verstopft wurde.

Faßt man den Begriff „Maar" in solchem allgemeineren Sinne, also für jede auf explosive Weise entstandene vulkanische Öffnung, die entweder nur eine geringfügige und niedrige, von den bei der Explosion und der nachfolgenden Tätigkeit zu Tage geförderten Auswurfsmassen gebildete Umwallung besitzt, oder auch gar keine, so scheinen derartige Gebilde weite Verbreitung auf Erden zu haben. Es wären negative Bodenformen, wie Supan sagt.

An die Entstehung der Maare hat sich schon in früheren Zeiten eine lebhafte Kontroverse geknüpft, und man hat versucht, die Bildung dieser Dinge auch noch auf andere Weise zu erklären, so durch Einsturz, allerdings derartig, daß dieser Einbruch der Erdrinde veranlaßt worden sei durch vulkanische Kräfte, die durch allmähliches Einschmelzen der Erdfeste durch das Magma von unten herauf und dort, wo dieses in nur geringen Tiefen sich findet, die Kruste dünner machen, bis diese an den betreffenden Stellen zusammen-

bricht und der Maartrichter zustande kommt. Man hat diese Annahme unter anderem auch durch den Umstand stützen wollen, daß manche Maare von keiner aus den ausgeworfenen Materialien bestehenden Umwallung umsäumt werden, daß also der Pfropfen fehle, der ja bei der Bildung durch Explosion hätte mit herausgeschleudert werden müssen. Man hat aber dabei nicht recht in Betracht gezogen, daß die Erosion diesen ja ebensogut zerstört haben könnte, und daß aus der Tatsache, daß zur Zeit keine Umwallung mehr zu sehen ist, nicht gefolgert werden darf, daß eine solche überhaupt immer gefehlt hätte.

Öffnet man eine Flasche Selterswasser plötzlich, so entweicht mit der darin festgehaltenen Kohlensäure auch ein Teil des Wasserinhalts, den dieses Gas in feinzerstäubtem Zustande mit sich nach oben führt und damit einen äußerst feinen Sprühregen erzeugt. Genau so verhalten sich die beim Anfang einer Eruption dem aufsteigenden Magma voraneilenden Gas- und Dampfmassen. Sie reißen aus der Lavasäule größere und kleinere Teile nach oben, die mit ihnen zusammen hoch in die Luft hinaufwirbeln, im Verlaufe ihrer aërischen Reise rasch erkalten und in der Nähe der Auswurfsöffnung wieder niederfallen. Feinere Teile nennt man vulkanische Sande und Aschen, gröbere, erbsengroße und noch größere, Lapilli, ganz große —

zuweilen sind es sogar gewaltige Stücke, — Bomben. An der Erstarrungskruste dieser letzteren Gebilde sind oft noch die Spuren der drehenden Bewegungen zu erkennen, welche sie bei ihrer Fahrt durch die Lüfte durchzumachen hatten. Es liegt auf der Hand, daß, je kleiner und feiner die ausgeworfenen Teilchen sind, um so größer auch die Höhe und die Entfernung sein wird, in welche der aus dem Schlot herausschießende Strahl heißer Dämpfe und Gase sie hinauf und fortzutragen vermag. Je nach der Intensität und der Dauer der explosiven Tätigkeit, die sich ja rasch hintereinander viele Male wiederholen kann, wird somit um die Umrandung der Auswurfsöffnung eine Umwallung von verschieden großer Höhe und Mächtigkeit aufgeführt werden. Bei etwas andauernder Tätigkeit werden dann größere und kleinere Berge aufgeschüttet, und zwar im Zeitraum weniger Tage. Der 134 m hohe Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern hat vier Tage zu seiner Bildung gebraucht (September 1538), und die Monti Rossi am Ätna, über 300 m hoch, nicht viel mehr. Es gibt noch allerhand Beispiele für derartige in kurzer Spanne Zeit entstandene Vulkane, so den Xorullo in Mexiko, der im September 1759 geboren wurde, oder den Izalco in Salvador, dessen Auftürmung auch in das Ende des 18. Jahrhunderts fällt. Bleibt es lediglich beim Aufschütten

loser Auswurfsmassen, ohne daß Laven zu Tage gefördert würden, so stellt das neuerstandene Gebilde einen Schlacken- oder Aschenkegel dar, auf dessen Scheitel der Kommunikationskanal mit dem Magmaherde in einer mehr oder weniger rundlichen Öffnung, dem Krater mündet, die sich entweder sehr bald nach der Tiefe zu verengen kann, oder, wie das beim Monte Nuovo der Fall ist, bis in den Fuß des Berges hinabreicht. Nun kommt es vor, daß mehrere solcher Schlackenkegel aneinandergereiht stehen, so daß man eine allmähliche geringe Verschiebung der Eruptionsstelle oder mehrere nebeneinander annehmen muß. Fig. 1 und 5, Tafel 13 zeigen dies in schematischer Weise und zugleich auch, wie sich eine solche Reihe von Vulkanen darstellen wird, wenn der Zahn der Erosion ihre Kegel mehr oder weniger angefressen hat. Geikie nennt Vulkane von solchem Bau, also Schlackenkegel, zugleich übrigens auch die kleinste Abart der Vulkane auf Erden, Feuerberge nach dem Puy-Typus. Wenn bei einem Vulkan dieser Gattung nach Aufschüttung des Kegels noch Lavamassen ausgeflossen sind, so konnte es geschehen, daß der Berg dadurch auf einer Seite oder auch auf zweien von dem herausdrängenden Glutstrom aufgerissen wurde und seine Wandungen breite Öffnungen erhielten, welche diesem den Austritt gewährten. Für den Fall, daß das auf zwei ver-

schiedenen Seiten des Berges statthatte, konnten dann zwei Lavaströme in entgegengesetzter Richtung aus dem Kegel fließen. Man kann an den Puys der Auvergne, wo diese vulkanischen Gebilde zuerst bekannt geworden und der Erscheinung den Namen gegeben haben, die verschiedensten diesbezüglichen Modifikationen beobachten.

Wirft der Schlot bald lose Massen aus, oder entsendet er bald Lavaströme, so daß mit der Zeit ein Berg entstehen muß, der aus mehr oder minder regelmäßigen Wechsellagerungen dieser Produkte aufgebaut wird, die vom Vulkanschachte abwärts nach der Peripherie des Berges hin größere oder geringere Neigung aufweisen, dann wird ein Vulkan nach dem Vesuv-Typus Geikies, ein Schicht- oder Stratovulkan hergestellt. Bei weiterem Fortschreiten der eruptiven Tätigkeit entstehen daher gewaltige Berge, deren Flanken von vielen parasitischen Adventivkegeln besetzt sind, die schließlich in ihren Kraftäußerungen dem väterlichen Organismus nichts nachgeben werden. Eine Abart des Vesuv-Typus ist der Hawaii-Typus, der aber nur selten vorkommt (in Island und auf Hawaii) und durch Förderung dünnflüssiger Lavamassen, die flache aber sehr hohe Kegel aufbauen (Manna Loa), ausgezeichnet ist, ohne irgendwelchen wesentlichen Beitrag durch lose Auswürflinge.

Diese eben geschilderten Vulkanberge sind bezüglich ihrer Bildungsweise nicht etwa nur auf die jüngsten geologischen Zeiten oder auf die Gegenwart beschränkt; dieselben sind, wie Geikie für die britischen Inseln nachgewiesen hat, auch in ganz alten Phasen in der Entwicklungsgeschichte unseres Planeten auf ganz analoge Art zustande gekommen. Wie ein von der Erosion im Laufe der Äonen zerstörter geologisch alter Feuerberg vom Vesuv-Typus in der Gegenwart aussehen kann, das zeigt Fig. 2, Tafel 13.

Bevor es so weit kommt, wie diese Abbildung erläutert, hat der Vulkan selbstverständlicherweise eine lange Reihe von verschiedenen Rückbildungsphasen durchzumachen gehabt, die begonnen haben müssen, sobald die aufbauenden Kräfte zum Stillstand gelangten, die Tätigkeit, wenigstens die Laven und lose Auswurfsmassen fördernde, also aufhörte. Denn ein eventuell später noch eintretender Solfatarenzustand würde viel mehr gesteinszerstörend als gesteinsbildend wirken müssen, kraft der zersetzenden und zerfressenden Eigenschaften der dabei arbeitenden Gase und Dämpfe. Der Kegel wird nach und nach abgetragen, die an seinen Wandungen hinabrinnenden Atmosphärilien reißen mit der Zeit Schluchten und Talungen in seine Flanken, und so wird aus dem ehemals stolz in die Lüfte ragenden hohen Berge ein von hohen Wänden

eingefaßtes Kesseltal, die Caldera, welches durch eine oder mehrere Schluchten (Barranco) nach außen hin geöffnet ist. Die Vulkanruine kommt zum Ausdruck.

Falls aber, wenn auch nach jahrtausendelanger Pause, die unterirdischen Gewalten an dieser alten Ausbruchsstelle wieder aufs neue rege werden und explosiv vorgehen, dann wird durch die Wucht der neuen Eruption der Berg in die Luft gesprengt, sein Material in Milliarden von Stücken und Stückchen zerstäubt und von den herausschießenden Gasen und Dämpfen hoch in die Atmosphäre hinaufgewirbelt. Weite Strecken der Erdoberfläche werden damit bedeckt. Wir brauchen nur an den Ausbruch des Krakatau im Jahre 1883 zu erinnern, oder an denjenigen des Bandai-San in Japan, der am 15. Juni 1888 seit Menschengedenken zum ersten Male wieder in Aktion getreten ist. 1213 Millionen Kubikmeter lose Auswurfsmassen im Gewicht von 2826290 Millionen kg sind bei diesem Anlaß aus dem Berge ausgesprengt worden. Bei dieser letzten Explosion ist wohl kaum Material aus der Tiefe heraufgefördert worden, jedenfalls aber nur sehr wenig, während der Krakatau Bimssteine und Aschen aus seinem Schlunde ausgeworfen hat. Die letzteren fielen in einem Umkreis von 500 km. vom Vulkan nieder, und die Gesamtmasse des zerstäubten und ausgeschleuderten Materials wird auf 18 cbkm



Seitenausbruch am Aetna, am 20. Mai 1886. (Nach Photographie.)

veranschlagt. 30000 m hoch soll die Rauch-, Dampf- und Aschensäule in die Lüfte hinaufgestiegen sein, und die darin fein verteilten Partikelchen vulkanischen Staubes sind hier von den atmosphärischen Strömungen erfaßt und zweimal um die ganze Erde herumgeführt worden, die bekannten Dämmerungserscheinungen hervorbringend, welche denjenigen unserer Leser, die zwanzig Jahre zurückdenken können, noch in Erinnerung sein werden. Der Paroxysmus des Krakatau, die größte derartige Erscheinung in historischen Zeiten, und seine Folgen haben die Gemüter der Menschen damals nicht wenig erregt. Daß übrigens bei diesem Ereignis, das zwei Drittel der Krakatau-Insel vernichtete, ein gewaltiger Zusammensturz des Vulkans in die Tiefe stattgefunden haben muß, das scheint außer Zweifel zu stehen. Ein derartiger Einbruch des alten Berges beim Wiedererwachen der vulkanischen Kräfte dürfte nicht so selten sein, und nicht immer wird bei solchem Anlaß der frühere Kegel (oder Teile desselben) in die Luft geblasen. Solche Bruchfelder, Zonen des Einsturzes im alten Vulkangebäude beim Wiederauftritt der Tätigkeit an dieser Stelle, hat Bergeat auf den Liparen, so am Stromboli, beobachtet, entgegen der Ansicht von Poulett-Scrope, nach welcher ein Teil des alten Vulkans weggeblasen worden sein soll. „Die Massen

eines Vulkans sind dem glutflüssigen Magma, das stellenweise oder ganz und gar das Erdinnere erfüllt, am nächsten. Ihre Hänge können, besonders bei tätigen oder kaum erloschenen Vulkanen, als die dünnsten und deshalb schwächsten Stellen der Erdkruste betrachtet werden. Kleine Einstürze an Vulkanen erklärt Naumann damit, daß Schmelzhitze und die unterirdischen Explosionen der im Krater auf- und niederwogenden Lava im Inneren des Vulkans große Zertrümmerungen und Aushöhlungen bewirkten, in welch letztere dann Teile des Vulkans hinabbrächen. Eine rasche Erschöpfung der Lava infolge eines heftigen Ausbruches dürfte wohl manchmal zur Entstehung eines Massendefektes unter dem Vulkan und zu einem Nachsinken seiner Wandungen führen. Zwischen den Schollen des Einsturzgebietes aber bieten sich Öffnungen für erneute Ausbrüche."

An der Stelle des zerstörten alten Berges bildet sich der neue, und zwar so, daß, wenn der letztere über dem Schlot des ersteren aufgebaut wird, ein Vulkankegel entsteht, den der übriggebliebene Teil des alten Berges einfaßt. Ein treffendes Beispiel dafür ist der Vesuv. Im Zentrum des älteren, im Norden und Nordosten noch erhaltenen vorhistorischen Vulkans, der Somma, erhebt sich der jetzige Vesuv, der wohl erst vom Jahre 79 n. Chr., also von der ersten ge-

schichtlichen Eruption an datiert, von der man bei diesem Berge weiß, wenn man in neuerer Zeit auch Versuche gemacht hat, zu beweisen, daß dieser Vesuvkegel schon vorher vorhanden gewesen sei. Ein auf solche Weise gebauter Doppelvulkan wird als Sommavulkan bezeichnet, und würde im Falle, den wir hier angezogen haben, ein konzentrischer Vulkan sein. Der Sommatypus ist einer der verbreitetsten in der Gegenwart, und ein noch schöneres Beispiel dafür, als der Vesuv selbst, ist der Vulkan der Insel Fogo auf den Capverden, dessen Abbildung auf Tafel 13 zu sehen ist.

Wenn die neue Ausbruchsöffnung nicht mehr an die Stelle der alten zu liegen kommt, also verschoben wird, wenn, wie das beim Ätna der Fall ist, der neue Krater sich auf der Umwallung des alten Vulkans festsetzt, dann hätten wir einen exzentrischen Vulkanberg.

Eine jede neue Eruption von größerer Stärke wird selbstverständlicherweise den neugebildeten Vulkankegel wieder verändern, denselben bald erhöhen, bald erniedrigen, und ebenso einen ständigen Wechsel in der Ausbildung seiner Krateröffnung hervorbringen. Bleiben wir beim Vesuv, als Beispiel. Der Kegel dieses Vulkans ist bald höher, bald niedriger als die Somma gewesen, und der Krater des Berges hat nicht

nur im Verlaufe längerer Zeitperioden, sondern auch ein- und derselben Eruption die allerverschiedensten Bilder gezeigt. Die Größe und der Umfang des Kraters ist übrigens unabhängig von den Dimensionen des Berges selbst, wie die einem Werke des berühmten englischen Geologen Judd entnommenen vergleichenden Skizzen (Taf. 10 Fig. 2) zeigen. Und ebensowenig hängt der Intensitätsgrad der Tätigkeit eines Vulkans von seiner Höhe ab. Der gefürchtetste der isländischen Vulkane, der Kotlugia, im Süden dieser Insel, liegt unter einer gewaltigen Eistafel, dem Myrdals Jökull begraben, und in den Zeiten, in denen dieser böse Bruder sich ruhig verhält, läßt nur der Schwefelwasserstoffgeruch des dem Eise entströmenden Wassers, die Folge der subglacialen Fumarolen, allein ahnen, daß man sich an einer Stelle des Erdenrundes befindet, wo vulkanische Machtentfaltung sich zuweilen im höchsten Maße betätigt. Wenn der Kotlugia einen Ausbruch erleidet, wird zuerst siedend heißes Wasser in ungeheurer Menge auf die Umgebung ausgeschleudert, dann folgen Massen, die von einem Gemisch von solchem Siedewasser und vulkanischen Auswurfsstoffen zusammengesetzt werden, und dazwischen befinden sich Eisblöcke der verschiedensten Dimensionen. Die Kochkunst der Gegenwart hat ein Gericht gezeitigt, das aus Fruchteis besteht, welches von einem

warmen Mantel von Eiermasse umhüllt wird, die „omelette en surprise“, wie man diesen kulinarischen Gegensatz getauft hat. Die Herstellung dieser Speise gilt als ein Prüfstein besonderer Geschicklichkeit, muß es doch nicht leicht sein, das Fruchteis in der Pfanne nicht zerschmelzen zu lassen! Was ist aber eine derartige Leistung gegenüber der gewaltigen „omelette en surprise“, welche die Mutter Natur auf dem Herde des Kotlugia zuweilen zu bereiten beliebt?

Das glutflüssige Blut der Vulkane, die Laven, trägt selbstverständlich das allermeiste zur Verfestigung der Berge bei. Gibt es doch Vulkankegel, die lediglich nur aus diesem Material aufgeböscht worden sind, wie wir schon gesehen haben (Hawaii-Vulkane). Die Laven treten entweder aus dem Gipfelkrater aus, oder aus Spalten, welche in die Flanken des Kegels eingerissen werden. Und wenn das erstere der Fall ist, dann kommt auch hier die Höhe des Berges nicht in Betracht, denn man hat schon Lavaausbrüche aus dem Hauptkrater des Cotopaxi hervorkommen sehen, also in einer Meereshöhe von 6000 m, und wenn der Ätna aus seinem Gipfelschlunde den feurigen Brei herausspeit, so geschieht das ebenfalls an einer Stelle, die 3000 m über dem Meeresspiegel erhaben ist. Man kann sich danach ein Bild von der Gewalt und dem Druck der Triebkraft machen,

die den Glutfluß aus den Tiefen der Erde zu derartigen Höhen hinaufsendet!

Solange die Lava nicht in den Berg selbst eingetreten ist, solange ihre Säule noch innerhalb der Erdfeste, die diesem als Fundament dient, sich aufwärtsbewegt, ist natürlich der Druck der den Schlot umgebenden Gesteinsmauern ein so beträchtlicher, daß die feurige Materie nicht seitwärts auszubrechen vermag, es sei denn, sie träfe Spalten und Klüfte an, in welche sie hineindringen könnte. Aber sobald die Lavasäule sich im Vulkankegel selbst befindet, also in den unteren Teil seines Baues, in seinen Fuß einfließt, wird der Widerstand, welche die umschließenden Wandungen ihr entgegensetzen können, ein wesentlich geringerer werden, als bisher. Wenn dann der Berg kein ganz festes Gefüge hat, — und das ist bei den meisten Vulkanen doch kaum der Fall —, der Aufstieg der Laven aber unter beträchtlichem Druck erfolgt, wenn ferner vielleicht vollends noch der obere Teil der Kraterröhre verstopft ist und dem ersten Anprall der Lavamassen ein Hindernis entgegenbringt, dann spaltet sich unter der Last des Druckes der Berg, und die glutige Masse fließt nicht mehr aus dem Gipfelkrater, sondern seitlich aus. Zuweilen geschieht das schon in der Nähe des Bergfußes, andere Male wieder erst in halber oder in dreiviertel Höhe des Kegels.

Meist beginnt eine solche Seiteneruption gerade so, wie eine aus dem Gipfelkrater erfolgende, und die aufgerissene Spalte hat dabei genau denselben Wert wie die Hauptspalte, resp. der Hauptschlot des Feuerberges. Zuerst werden dann die losen Auswurfsmassen herausgeschleudert und bilden die sogenannten Adventiv- oder Parasitenkegel, kleinere Vulkane auf dem Muttervulkan, Dinge, die manchmal beträchtliche Höhe erreichen können. Die Monte Rossi, von denen schon früher die Rede gewesen ist, sind 324 m hoch geworden. Eine derartige Spalte ist mit solchen Adventivkegeln oft dicht besetzt. Beispielsweise konnte man im Jahre 1853 auf einer an der Nordwand des Vesuvkegels entstandenen Spalte zwölf Parasitenvulkane beobachten.

Solche Lavamassen ergießenden Spalten können auch entstehen, ohne daß ein eigentlicher Vulkanberg vorhanden zu sein braucht. Das ist beispielsweise auf der Insel Island der Fall. Ja, noch mehr! Eine derartige Spaltenbildung mit eruptiver Tätigkeit, ohne eigentliche Vulkanbaue, das ist geradezu die charakteristischste Eigenschaft in den Äußerungen der vulkanischen Kraft auf diesem Eiland! Diese folgt sehr oft den Begrenzungslinien der „Horste“, d. h. der festen Strebepfeiler im Felsgerüste des in Frage stehenden Areals, die den Bodenbewegungen erfolgreichen Wider-

stand leisten konnten. Eine der bedeutendsten dieser vulkanischen Eruptionsspalten ist diejenige, welche die Lakiberge, eine aus palagonitischen Tuffen bestehende Erhebung von etwa 850 m Meereshöhe durchzieht, östlich vom Skaptar-Jökull, und zwar in einer Länge von 20 km. Nicht durchgehends läuft hier die Spalte durch. In den Lakibergen selbst kam es nicht zu einem Aufklaffen derselben, trotzdem die Kluft sie durchquert, aber nahe am Fuße des Berges beginnt sie und hat nicht weniger als fünfhundert kleinen, auf der Spalte aufsitzenden und reihenweise geordneten Feuerschlünden das Leben gegeben, von denen dreiunddreißig, die größten, etwa 100—150 m Durchmesser und 50—100 m aufweisen, während die kleinsten 4—5 m Durchmesser bei 2 m Höhe besitzen. Alle diese Gebilde sind aufgeworfene Schlackenkegel, durch welche die Lavamassen ihren Austritt genommen haben. Ein Areal von 900 qkm wird von den Laven des Laki bedeckt, die eine mittlere Mächtigkeit von 30 m zeigen dürften, demnach ungefähr 27 cbkm Rauminhalt haben. Die Eruption hat mit einer gewaltigen Lavaergießung im Norden des Miklafell und des Kaldbakr begonnen, die 48 km lang und 14 breit gewesen ist und breite Talungen ausgefüllt hat. Dann folgten mächtige Austritte des Glutbreies an den beiden Enden der Spalte. Der ganze Vorgang, zugleich der

größte Lavaerguß, von dem die Geschichte weiß, hat im Jahre 1783 stattgefunden, sieben Monate in Anspruch genommen, davon fünf der intensivsten Tätigkeit.

Aber die Lava fließt, wie Thoroddsen berichtet hat, auch zuweilen durch und unmittelbar aus der aufgerissenen Spalte heraus, ohne daß Schlackenkegel dabei zur Ausbildung kämen, wie beim Laki. Das kann man an der großen Eldgja-Spalte sehen, woselbst an drei Stellen ein ruhiges Hervordringen des Glutbreies stattgefunden hat; nur auf der südlichen Verlängerung der Spalte, da, wo diese enger und schmäler wird, ist eine Reihe größerer Schlackenkegel aufgeschüttet worden. Die besagten drei Lavaströme bedeckten ein Areal von 693 qkm. Die Eldgja, was so viel heißen will, wie Feuerkluft, ist 1893 von Thoroddsen entdeckt worden. Welchen Umfang die Lavaergüsse auf Island überhaupt gehabt haben, das mag der Umstand illustrieren, daß eine dieser ausgedehnten Lavawüsten, der Odádahraun 4000 qkm einnimmt, während die Masse ihres Materials genügen würde, um das ganze Königreich Dänemark 5 m hoch damit zu bedecken!

Dieser Plateau- oder Spaltentypus der Vulkane (nach Geikie) ist in früheren Zeiten, im Tertiär, ein sehr verbreiteter auf Erden gewesen (Indien, Nordwestliches Europa, Westamerika), kommt

aber auch in älteren Bildungen vor und soll nach Stübel, wie wir noch kennen lernen werden, die eigentliche und normale Ablagerungsform des Magmas gewesen sei. Wie im Verlaufe der geologischen Zeiten ein solcher Spaltenerguß umgemodelt worden sein und sich in der Gegenwart darstellen kann, das soll Fig. 3 auf Tafel 13 erläutern.

Der aus dem Vulkanschlot in glutflüssigem Zustande austretende Gesteinsbrei, die Lava, kann eine sehr verschiedene mineralische Zusammensetzung besitzen, und diese bleibt sich in dieser Hinsicht bei einem und demselben Feuerberg auch nicht immer gleich. Durch äußerst komplizierte und der Erläuterung an dieser Stelle sich entziehende chemisch-physikalische Vorgänge im Magma kann dieses sich in eine Anzahl von Schmelzflüssen spalten und die Entstehung von sehr verschiedenartigen Laven verursachen. Aus dem Studium der vorweltlichen Laven, der eruptiven Gesteine, hat man gelernt, daß unter verschiedenen physikalischen Bedingungen aus einem und demselben Magma Gesteine von sehr verschiedener mineralischer Zusammensetzung sich bilden können, und daß auch bezüglich der Struktur, des Gefüges der Gesteine, die im Magma enthaltenen gasförmigen Substanzen, die Mineralbildner, eine wesentliche und wichtige Rolle zu spielen berufen sind.

Die Hauptbestandteile sämtlicher Laven sind Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd, Eisenoxydul, Magnesia und Kalk, Kali und Natron, und neben diesen finden sich noch eine Anzahl untergeordneter Verbindungen, so Phosphor-, Titansäure, Schwefel, Zirkon, Barium, Strontium, Wasser, Mangan, Nickel, Chrom, Arsen, Antimon, Chlor, Fluor, Bor, u. s. w. Laven mit einem Durchschnittsgehalt von 65 % und darüber an Kieselsäure nennt man saure, solche mit einem Kieselsäuregehalt von 52—65 % neutrale, diejenigen endlich mit einer 52 % nicht erreichenden Kieselsäuremenge basische.

Alles das, was in glutflüssigem Zustande aus einem Vulkan heraustritt oder aus einem ehemaligen Vulkan herausgequollen ist, das ist im Sinne der Wissenschaft Lava. Das geht eigentlich aus dem Vorhergesagten schon von selbst hervor. Da alle Eruptivgesteine unserer Erde einmal in einem solchem glutflüssigen Stadium sich befunden haben, sind sie also Laven, immerhin mit einer Einschränkung. Es gibt eine Gruppe von aus Glutfluß erstarrten Gesteinen, die trotzdem keine Laven sind und auch niemals solche waren, weil sie nicht aus einem Vulkan ausgeflossen, überhaupt in feurigflüssigem Zustande nicht an die Erdoberfläche getreten sind. Man nennt diese Ab-

teilung der Eruptivgesteine die Tiefengesteine. Auf dem Wege ihres Durchbruchs aus der Tiefe der Erde an die Oberfläche des Planeten sind dieselben innerhalb des festen Felsgerüstes stecken geblieben und aus irgendwelchen Gründen nicht zum Erguß auf der Erdoberfläche gelangt, mußten also dort unter ganz anderen Verhältnissen, zweifellos bei sehr viel höherer Temperatur und unter sehr viel bedeutenderem und anhaltenderem Druck erstarren, als dies bei denjenigen Magmamassen der Fall ist und war, die sich zum Tageslicht hindurchringen und sich hier ergießen konnten, bei den Ergußgesteinen. Erst später, durch geotektonische Vorgänge, wie Gebirgsbildung, oder auch durch die Wirkungen der Erosion sind diese Tiefengesteine, nachdem sie schon längst erstarrt und auskristallisiert waren, an die Erdoberfläche gelangt und der menschlichen Beobachtung dadurch zugänglich geworden. Die Laccolithe, von denen schon früher die Rede gewesen ist, sind derartige Gesteinsintrusionen, die in der Tiefe erstarrt sind, gewesen. Die Natur der Tiefengesteine ist eine körnige; die Gesteinsgemengteile sind alle ungefähr von gleicher Größe, und der ganze Gesteinsteig, aus dem sie auskristallisierten, hat sich solchermaßen individualisiert. Es ist nichts davon mehr übrig geblieben, es hat sich die ganze Masse des Magmas in die Mineralkörner umgebildet.

Ein typisches Beispiel eines derartigen Tiefengesteines ist der Granit.

Anders bei den Ergußgesteinen! Diesen sind die porphyrischen und glasigen Strukturen eigentümlich. Die erstere besteht darin, daß das Gefüge des Gesteines aus einer Grundmasse besteht, die meist dicht ist und zwar derartig, daß der allergrößte Teil des Gesteinsteiges erstarrte, bevor sich die Mineralien aus demselben ausscheiden, auskristallisieren konnten. Diese Grundmasse ist dicht, wenn sie zuweilen auch die Anfänge der Mineralbildung, ein embryonales Stadium in der Mineralausscheidung erkennen läßt, und in derselben, in der Basis, sind einzelne, bald mehr, bald weniger große und deutlich ausgestaltete Mineralien, die Einsprenglinge eingeschlossen. Oder diese letzteren fehlen ganz oder fast ganz, und die Basis ist durchaus glasig entwickelt, es ist nicht einmal zu einem Anfang der Auskristallisierung der einzelnen Mineralgemengteile gekommen.

Während man die Tiefengesteine nicht als Laven im eigentlichen Sinne des Wortes ansprechen darf, muß dieser Charakter den Ergußgesteinen zuerkannt werden, auch dann, wenn jede Spur des Vulkanschlotes, aus welchem sie einmal emporgestiegen sind, längst zerstört und verwischt sein sollte. Und wie die Laven der Vorwelt, so sind auch die von den Feuerbergen

der Gegenwart geförderten glutigen Massen porphyrisch oder glasig entwickelt. Der Unterschied zwischen Tiefengesteinen und Ergußgesteinen ist kein in ihrer Zusammensetzung, wohl aber ein in ihrem Gefüge begründeter, und dieses wird wiederum bedingt von der größeren oder geringeren Schnelligkeit, mit welcher der Gesteinsbrei sich abzukühlen vermocht hat. Es liegt auf der Hand, daß beispielsweise eine laccolithische Intrusion, die Äonen lang unter dem Druck der über ihr lastenden Gesteinsreihen, in die sie sich hineingeschoben hat, steht, sehr viel langsamer und sehr viel vollkommener erstarren kann, als eine Masse des gleichen Magmas, das sich auf die Erdoberfläche ergossen hat. Hier mußten Druck und Temperatur sich rasch vermindern, und auch die Mineralbildner, weil sogleich aus dem Magma entweichend, nicht zur gleichen Entfaltung ihrer Wirksamkeit gelangen, wie das bei den Tiefengesteinen der Fall war.

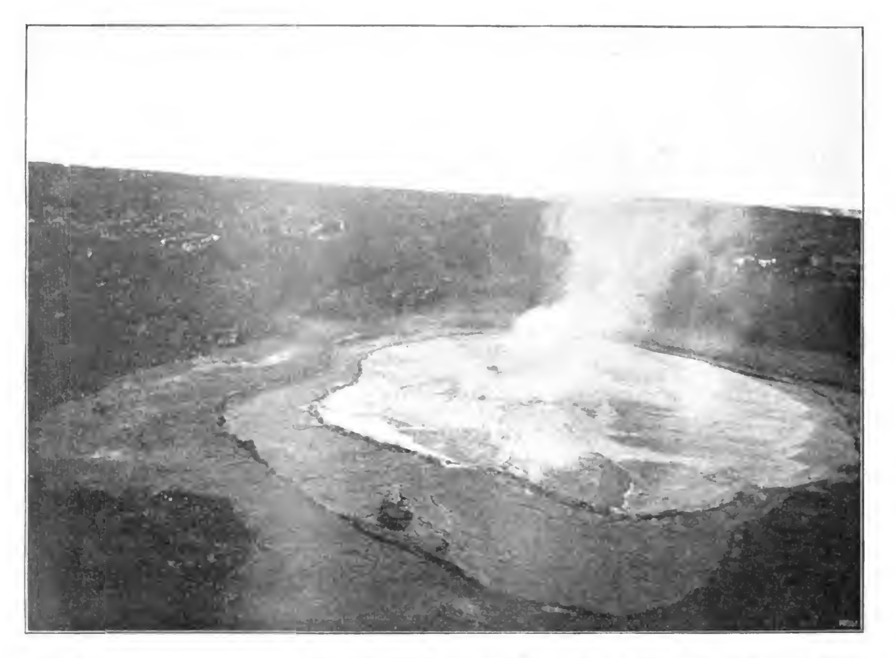
Wenn wir zwei der verbreitetsten Eruptivgesteine auf Erden betrachten, den Granit und den Quarzporphyr, so haben beide ein voneinander sehr verschiedenes Aussehen. Der Granit ein körniges, wohl auskristallisiertes Gestein, in dessen Masse man die diese Felsart zusammensetzenden Mineralien, Feldspat, Quarz und Glimmer meist mit unbewaffnetem

Auge klar und deutlich erkennen kann. Dagegen der Quarzporphyr eine homogen erscheinende Masse, aus der nur einzelne Einsprenglinge hervorstechen, und die man auch bei Anwendung der stärksten Vergrößerungen nicht in die obengenannten Mineralien zerlegen könnte. Und dennoch ist es ein und dasselbe Magma, ein Gesteinsbrei ein und derselben chemischen Mischung, aus dem beide so verschiedenartig sich präsentierende Gesteinstypen hervorgegangen sind. Das läßt sich auch durch die chemische Analyse nachweisen!

Es ist eines der kompliziertesten und schwierigsten Kapitel der Gesteinslehre, das wir soeben angeschnitten haben und das weiter zu verfolgen wir uns versagen müssen. Denn es gehört eigentlich nicht mehr hierher, und noch detailliertere Auseinandersetzungen auf diesem interessanten Gebiete fielen aus dem Rahmen unserer Darstellungen hinaus. Daß auch im Magma, das die Vulkane der Gegenwart zu Tage bringen, höchst eigentümlich und in vielen Dingen noch unklare Kristallisationsvorgänge stattfinden, schon bevor der Glutbrei den Vulkanschlot verlassen hat, das zeigen die vielen, wohlausgebildeten Kristalle, welche die Laven in schon fertigem Zustande bei ihrem Ergusse enthalten, so beispielsweise die gewaltigen Mengen von schönen großen und kleinen Leucit-

kristallen, welche in die Vesuvlaven gleichsam eingebacken sind.

Diese Abkühlungsvorgänge im kleinen geben uns auch die Laven selbst wieder. Sobald ein Lavaerguß aus seiner Ausbruchsstelle hervorquillt, bedeckt sich seine Oberfläche sofort mit einer schlackigen Kruste. Dies ist auch an der unteren Begrenzungsfläche der Lavamasse und ebenso an ihren Seiten der Fall, so daß ein förmlicher Schlackensack zur Ausbildung gelangt, der die glutige Masse in seinem Inneren birgt. Nun ist diese Schlackenkruste ein äußerst schlechter Wärmeleiter, und infolgedessen kann der Inhalt des Sackes noch sehr lange Zeit hindurch hohe Temperaturen aufweisen, selbst wenn seine Oberfläche gänzlich starr geworden ist und das noch mehr oder minder glutige Innere kaum ahnen läßt. Wir erinnern hier an das schon weiter oben über die Ausbrüche des Kotlugja Gesagte, der in die glutige Lava eingehüllte Eisblöcke auswirft, was ein Beweis für die schlechten wärmeleitenden Eigenschaften der erstarrten Lavakruste ist. Der bekannte Vulkanforscher Wolff hat beobachtet, wie eine aus dem Gipfel des Cotopaxi herausfließende Lavamasse die Eis- und Schneehülle dieses Bergriesen an dieser Stelle doch nur in recht geringem Maße — kaum den zehnten Teil davon — zum Schmelzen zu bringen vermochte. Spallanzani



Der „Feuersee" (feurigflüssige Lava) im Kilanea, Krater des Mauna Loa auf Hawaii, im Februar 1893.

(Nach einer Photographie.)

versuchte einmal, in die Risse eines bereits elf Monate alten Lavastromes am Vesuv einen Stock einzustoßen, der sofort in Flammen aufging, Laven des Ätna waren zwei Jahre nach ihrer Entstehung noch so heiß, daß man sich denselben dort, wo Risse in der Kruste sich gebildet hatten, kaum nähern konnte, und ein Strom aus dem Jahre 1858 wies sieben Jahre später, 1865, noch eine Temperatur von 72° auf!

Es leuchtet nach dem Gesagten sofort ein, daß das Innere eines solchen Lavastromes eine ganz andere Konsistenz, ein von dem der Schlackenkruste wesentlich verschiedenes Aussehen haben muß, und das ist auch wirklich der Fall. Wenn man in die Lage kommt, Durchschnitte an Lavaströmen beobachten zu können, so zeigt sich, daß unter der glasig-porösen Schlackendecke kristallinisch entwickelte, steinartige Lava zum Vorschein kommt, die wiederum nach unten hin in die schlackige Ausbildungsweise übergeht.

Von der äußerst hohen Temperatur des Magmas ist auf diesen Seiten schon mehrfach die Rede gewesen, und man hat nachweisen können, daß Lava, die schon 4 km von ihrem Ausbruchspunkte entfernt war, noch mindestens 1000° C. heiß gewesen sein muß. Neuere, von Bartoli an den Ätnalaven angestellte Versuche haben ergeben, daß deren Temperatur gleich bei ihrem Hervorquellen durchschnittlich 1000° C.

betrug, und an schon zähflüssig gewordenen Laven waren als niederste Wärmemenge 670 °C. zu konstatieren.

Die allerwärts aus einem Lavastrom hervorbrechenden Gase und Dämpfe sind sehr oft imstande, die Schlackenkruste wieder aufzureißen und neues glutflüssiges Material aus dem Inneren herauszuspritzen, das sich dann zu allerhand grotten-, schornstein-, kegelförmigen und anderen Gebilden zusammenfügt, aus welchen meist eine Fumarole hervorschießt. Diese Schlackenschornsteine sind eine weitverbreitete Erscheinung. Die Lavamassen, welche bei der Entstehung des Xorullo in Mexiko (1759) herausgestoßen wurden, sind von diesen, dort Hornitos genannten Dingen förmlich übersät, und im Vulkangebiet des Diret-et-Tulul in Nordsyrien ist Ähnliches zu sehen, wie Stübel und Andere berichtet haben.

Die Oberfläche der Schlackenkruste eines Lavastromes kann höchst verschiedenartig ausgestaltet sein. Bald gleicht dieselbe einer Unmasse nebeneinandergelegter oder übereinander gehäufter Fladen, oder strick- und seilartiger Gebilde, bald zeigt sie gekröseähnliches Aussehen, und schließlich, wenn der Strom einen steilen Abhang hinabläuft, und dabei die Schlackenüberzüge auseinanderreißen und in einzelne Blöcke zerfallen, die in noch plastischem oder auch schon in erhärtetem

Zustande übereinanderkollern, werden blockartige Lavamassen zustande kommen. So redet man denn auch von Fladen-, Strick-, Seil-, Gekröse-, Block- und Schollenlaven.

Einige Worte über die Geschwindigkeit, mit der ein Lavastrom sich fortbewegt, mögen hier ebenfalls am Platze sein. Diese wird in erster Linie abhängen von der Größe der nachschiebenden Lavamassen, von dem Flüssigkeitsgrade des Magmas und von der Neigung des Geländes, über welches sich der Strom fortbewegt. Am Mauna Loa auf Hawaii hat man Laven die Strecke von 3,5 m in der Sekunde durchmessen sehen, was etwa der doppelten Geschwindigkeit des Wassers großer Stromläufe in der Nähe ihrer Einmündung in den Ozean gleichkommen würde. Am Vesuv konnte man 2,4 m im selben Zeitraum feststellen, dann aber wieder nur 0,5 oder 0,6 m. 8 m in der Sekunde soll das Maximum sein, das jemals beobachtet werden konnte.

So gewaltige Lavaströme, solche Massenergüsse, wie wir sie weiter oben aus Island kennen gelernt haben, sind große Ausnahmen. Diese besitzen einen Rauminhalt von 27—30 cbkm, während die größten Lavaflüsse der Gegenwart $^1/_3$ bis $^1/_2$ cbkm Masse aufweisen, so diejenigen des Mauna Loa auf Hawaii. Genannter Vulkan hat im Jahre 1855 einen Lava-

strom ausgesandt, der schon wenige Monate nach dem Beginn der Eruption 50 km weit geflossen war, bei einer durchschnittlichen Breite von 200 m und einer mittleren Mächtigkeit von 50—100 m. 16 km vom Austrittspunkt entfernt sah man den Glutbrei unter seiner Schlackendecke noch brodeln und zischen. Eine der allergrößten Lavamassen, die der Vesuv jemals ausgespieen hat, ist diejenige gewesen, die im Jahre 1794 Torre del Greco zerstörte. Sie erreichte eine Länge von 5,7 km, war 650 m breit und etwa 13 m im Durchschnitt hoch. Ihr Volumen dürfte ungefähr 15600000 cbm betragen haben.

Flammenerscheinungen bei vulkanischen Ausbrüchen hat man früher als den Widerschein des im Vulkanschlote aufsteigenden Magmas am Himmel gedeutet, doch hat man seither so viele Beweise von der Tatsächlichkeit dieses Phänomens erhalten, daß an dem Auftreten von Flammen an den Vulkanen nicht mehr zu zweifeln ist. Es dürften zumeist Wasserstoff und Kohlenwasserstoff sein, welche dieselben verursachen.

Eine andere mit dem Bau des Vulkankegels in Verbindung stehende Erscheinung mag hier auch noch Erwähnung finden, die Schlammströme. Fast bei jeder Eruption findet ein mehr oder minder reichlicher Erguß von Wassermassen statt, sei es nun,

daß diese auf die Kondensation der vom Feuerberg ausgestoßenen Dämpfe zurückzuführen sind, oder auf Wassermengen, die sich im Krater des Berges angesammelt hatten, wenn dieser letztere vor dem Ausbruch längere Zeit hindurch nicht tätig war. Im ersteren Falle geht dieser Vorgang unter gewitterartigen Phänomenen, den vulkanischen Gewittern, vor sich, die sich von den gewöhnlichen durch den Mangel jeglicher Hagelbildung unterscheiden. Die aus dem Schlot hervorschießenden Wasserdämpfe sind mit positiver, die damit hervorkommenden Aschenteilchen mit negativer Elektrizität beladen, ein Umstand, welcher stetige Detonationen und Blitze erzeugt.

Diese vulkanischen Regen, mögen sie nun auf die eine oder auf die andere Weise hervorgebracht werden, reißen die Aschenpartikeln mit sich herab und fallen auf das Gehänge des Berges nieder, wo sie noch viel reichlicheres loses Gesteinsmaterial antreffen, dieses mit sich fortwälzen und so einen breiartigen Schlammstrom ins Leben rufen, der an steilen Bergwänden mit rasender Geschwindigkeit hinabfließen und großartige Verwüstungen in der Umgebung anrichten kann. Ein derartiger Schlammstrom hat sich bei der Eruption vom Jahre 79 n. Chr. von den Flanken des Vesuv auf die unglückliche Stadt Herkulaneum gewälzt, und sein im Laufe der Jahrhunderte

steinhart gewordenes Material hat das Weichbild dieses altrömischen Gemeinwesens so sehr umhüllt, daß an eine Ausgrabung gar nicht mehr zu denken ist. Wenn die unter solchen Umständen zur Ablagerung gekommenen breiigen Massen im Laufe der Äonen erhärten, werden tuffartige Gesteine daraus, in denen oftmals noch die Reste von Pflanzen zu sehen sind, welche die Schlammströme bei ihrem Fortwälzen mit sich genommen haben.

Schlammströme können auch dann hervorgebracht werden, wenn die Gipfelhöhen des Vulkanberges von einer Eis- und Schneekappe überzogen sind, die bei der Berührung mit den ausgeworfenen heißen Schlacken und Aschen, wenn auch nur teilweise, ins Schmelzen gerät und dann am Berggehänge herniedersausende Gewässer erzeugt, die diese losen Materialien und auch die schon vorher an den Vulkanflanken aufgestapelten in rasendem Tempo zu Tale bringen. Ähnliches ist bisweilen am Cotopaxi der Fall, und bei anderen Feuerbergen der Anden; die Vulkane Javas zeigen diese Erscheinung sehr häufig, und zwar diejenigen insbesondere, deren Krater in den Ruhezuständen eine seeartige Wasserfläche beherbergt. Die Größe der jeweiligen Schlammströme soll dann im direkten Verhältnis zu der Wassermenge dieser Kraterseen stehen. Kommen dann noch die vom Berg

selbst ausgestoßenen giftigen heißen Gase und Dämpfe hinzu, so gibt es Ströme siedend heißen, von Säuren durchsetzten Wassers und Schlammes, die alles, was sich ihrem ungemein schnellen Laufe entgegenstellt, verheeren und verderben. Die Geschichte der Vulkane auf den Sunda-Inseln und anderen Gegenden der Erde weiß viele derartige Ereignisse zu erzählen, welche unsägliches Elend hervorgerufen haben. Am 5. Mai 1902 schoß ein siedend heißer Schlammstrom urplötzlich vom Mont Pelé durch das Tal der Rivière Blanche zum Meere hinab und zerstörte binnen weniger Minuten die Zuckerfabrik von Guérin, der erste Akt in der ungeheuren Tragödie, die sich in den darauffolgenden Tagen und Monaten auf Martinique und St. Vincent abgespielt hat. Gleiches ereignete sich am 20. Mai auf der Ostseite des ebengenannten Berges, und wahrscheinlich noch an anderen Tagen dieses Monats. Auch auf die unglückliche Stadt St. Pierre scheint nach ihrer Zerstörung noch ein derartiger Schlammstrom niedergegangen zu sein, der stellenweise 60—90 m Mächtigkeit zeigt und den nördlichen Teil ihres Weichbildes bedeckt hat. Wann dieses Ereignis vor sich gegangen ist, weiß man nicht, da nach dem Unglückstage des 8. Mai die Stadt lange Zeit verlassen geblieben war. Es mag wohl gegen Ende des obengenannten Monats der Fall ge-

wesen sein. Jedenfalls war Anfang Juli dieser Schlammstrom schon so hart geworden, daß man ihn begehen konnte.

Ströme siedenden Wassers und Schlammes hat auch der Vulkan von St. Vincent, die Soufrière, auf diese Insel hinabgesandt und hat dadurch viele Menschenleben und blühende Gelände binnen wenig Minuten zugrunde gerichtet.

Zu den Erscheinungen, die in näherer Verbindung mit den eigentlichen Vulkanen stehen, gehören die Schlammvulkane, heiße, gashaltige Quellen in vulkanischen Gebieten, welche tonige und mergelige Schichten durchbrechen, dieselben nach und nach zersetzen, feine Teilchen derselben mit an die Erdoberfläche nehmen und hier einen tonigen Niederschlag um ihr Becken herum bilden, der vermöge seiner zähflüssigen Natur die Mündung der Quelle allmählich verstopfen kann. Das im Quellrohr zurückgehaltene Wasser gerät dadurch unter höheren Druck und schleudert dann den seinen Austritt hindernden Pfropfen unter explosionsartigen Vorgängen heraus, läßt Massen von tonigem Schlamm überfließen und ruft dergestalt einen kleinen Vulkankegel ins Leben. Diese Schlammvulkane treten immer gruppenweise auf. „Die Landschaft der Schlammvulkane rechtfertigt mehr, als ihr Aufbau ihre An-

näherung an die Vulkane. Das Erdreich in ihrer ganzen Umgebung ist vegetationslos und manchmal empfindlich heiß, der Ton zudem oft so weich, daß man nur mit großer Vorsicht an den Rand der einzelnen Schlammquellen herankommen kann. Das Ganze macht mit seinen brausenden und sprudelnden Quellen, den zischenden Dampfstrahlen und dem dumpfen, explosiven Geräusch der Gasblasen in den Schlammseen einen unheimlichen Eindruck, der an den eines Vulkankraters in lebhaftem Solfatarenzustand wohl erinnern mag.“ (Ratzel.) Eine bekannte Erscheinung dieser Art, eine Salse, wie die Schlammvulkane ebenfalls genannt werden, ist die Gunna auf Island. Übrigens sind nicht alle Salsen vulkanischen Ursprungs. Nach Deecke gehörten beispielsweise die Schlammvulkane Siziliens nicht hierher, wären vielmehr verursacht durch Umsetzung und Veränderung gipsiger, sehr bitumenreicher Schichten im Untergrunde und die dadurch bewirkte Entstehung von Sumpfgasen, welche die treibende Kraft abgeben. Während der Explosion treffen die herausgeschleuderten Massen in einem höheren Niveau mit Wasser zusammen, eine für viele dieser Vorkommnisse äußerst plausible Erklärung.

Das zähflüssigere Magma kann zur Bildung einer Abart von Vulkanen führen, die den Namen

homogene erhalten haben. Es tritt als Ganzes aus dem Schlot heraus, und durch die stets nachschiebenden Massen wird es zu einer Kuppe aufgestaut, die einen mehr oder weniger zwiebelartigen Aufbau zeigt. „Die tieferen und inneren Teile solcher Eruptivmassen sind die jüngsten Glieder, die älteren werden am Gipfel der Kuppe oft mangeln und an der Basis, wie auch an den Flanken zu suchen sein; die jüngsten Nachschübe aber stecken im Kern der Kuppe.“ (Reyer) (Taf. 26 Fig. 4.) Solche Quellkuppen sind im Grunde auch die schon früher (2. Abschnitt, pag. 57) von uns angezogenen Vorkommnisse des Georgios und des Vesuv, die wenn sie sich innerhalb einer festen Gesteinsschicht gebildet hätten, zu Laccolithen geworden wären. Stübel hat dergleichen Phänomene Staukegel genannt, weil dieselben durch Auf- und Einstauung entstanden sind. Wir werden nachher noch darauf zurückkommen. Eine Kraterbildung bei den Quellkuppen dürfte wohl nicht stattgefunden haben, immerhin hat der Georgios in kürzeren oder längeren Zwischenräumen Explosionen gezeigt, während das aber bei der Neubildung am Vesuv nicht der Fall gewesen ist.

Die Bildungsweise der Lavakuppen hat Hugo Laspeyres in seiner vor kurzem erschienenen schönen Monographie des Siebengebirges wie folgt erläutert:

Diese Kuppen, aus basaltischer, trachytischer und andesitischer Lava bestehend, bilden über dem durchbrochenen Gesteine kegel- oder glocken- oder domförmige Massen, sehr verschieden an Umfang und Höhe. „Sie finden aber noch ihre Fortsetzung innerhalb des durchbrochenen Gesteins, und zwar immer so, daß die Grenze beider unter die Kuppe einfällt und zwar meist steil (50—80°).“ Aus den Aufschlüssen in und an den Kuppen kann man zweifellos erkennen, daß die Lavamasse mit kegelförmiger Verschwächung in die Erdrinde niedersetzt, mithin dort einen Trichter ausfüllt (Taf. 26 Fig. 3). „Man wird sofort an die Ausfüllung eines Kraters durch die Lavamasse denken, aber auch zugleich die Frage aufwerfen, wie hat sich oberhalb des Kraterrandes diese Lavamasse noch kegelförmig als Kuppe aufstauen können?“ Wie aus Taf. 26 Fig. 3 ersichtlich, ruht die Lavamasse seitlich auf Kissen eines von Laspeyres als Basaltgrenztuff bezeichneten Gesteines, das aus losen Auswurfsmassen, die mit der Zeit eine tuffartige Konsistenz erlangten, besteht, und dessen äolische Bildung nicht angefochten werden kann. „Zuerst bildete sich um die Ausbruchsstelle über den Trachyttuffen ein mehr oder minder deutlich geschichteter Vulkankegel mit eingesenktem Krater“ (Taf. 26 Fig. 1). In der Abbildung ist der Kraterboden wie auch dessen Trichter

durch die zuletzt ausgeworfenen und in den Krater zurückgefallenen Schlacken bedeckt, resp. erfüllt. „Die tiefsten dieser vulkanischen Schichten werden vorwaltend aus den ausgeblasenen Trümmern der Trachyttuffe bestehen, untermischt mit vereinzelten Schlacken, Bomben, Rapilli, u. s. f. des basaltischen Ausbruches, sowie mit Brocken von den durchsetzten Tertiär- und Devonschichten. Nach oben hin werden sie aber immer mehr und mehr Basaltmaterial neben dem trachytischen führen und schließlich vorwaltend bis fast ganz aus basaltischen Trümmern bestehen.

Zum Schlusse der Eruption wird der Krater und Kraterschlund von der ruhiger aufsteigenden Basaltlava mehr oder weniger hoch erfüllt worden sein. Diese erstarrte im Krater, bevor ein Lavastrom sich durch den Kraterwall Bahn brechen oder über den Kraterrand sich ergießen konnte (Taf. 26 Fig. 2).

Damit war der vulkanische Ausbruch an dieser Stelle beendet.“

Zur Zeit, als diese Lavakuppen sich bildeten, standen in jenen Gegenden die Gewässer 180 m höher über dem Meeresspiegel der Gegenwart, und über den Fluten erhob sich das Hügelland der Trachyttuffe, der Unterlage der Kuppen bis zu 420 m etwa, und aus diesem ragten dann die mit Lava erfüllten Vulkankegel etwas über ihre heutige Höhe, also ungefähr



Aus dem Kilanea, Krater des Mauna Loa auf Hawaii ausgespieene glutflüssige Lava, in einen Teich stürzend und denselben ausfüllend. 1881. (Nach Photographie.)

460 m empor. Die Erosion fing ihr Zerstörungswerk an diesen Vulkanen an, und zwar nicht etwa, wie bisher angenommen worden ist, vermittelst großer tertiärer und nachtertiärer Wasserfluten, sondern durch die Atmosphärilien, weil seit Beginn der Tuffbildung bis in die Gegenwart das Areal Land war.

Zuerst wurden die an der Außenböschung der Vulkangebilde ausgehenden Grenztuffe von den erodierenden Kräften angenagt. So wurde nach und nach die den Krater erfüllende Lavamasse immer mehr ausgewaschen, daß sie an den Rändern zu Bruche ging und an dem Abhange der sich so bildenden kegel-, glocken-, domförmigen Erosionskegel die Blockhalden lieferte. Die die Lava früher bedeckenden Stromschlacken sind nur an einer Stelle erhalten geblieben, bei allen übrigen Kuppen aber fortgewaschen worden. Die trachytischen und andesitischen Kuppen zeigen pfeilerförmige, die basaltischen säulenförmige Absonderung, „die winkelrecht zur Grenzfläche steht, mithin hier meilerartig, allerdings bald mehr, bald weniger regelmäßig, oft von ungewöhnlicher Vollkommenheit radial von der Vertikalachse des Kratertrichters ausstrahlend. Nahe der Grenze sind die Säulen in der Regel plumper, als in weiterer Entfernung.“

Daß manche heute in Kuppenform sich darstellende

Basaltberge durch Erosionsarbeit aus größeren Decken herausgeschnitten worden sind, das geht aus dem schon auf Seite 235 Gesagten hervor und braucht darum hier nicht nochmals länger ausgeführt zu werden.

Wir können diesen Abschnitt nicht beschließen, ohne nicht auch der ganz eigentümlichen Erscheinung zu gedenken, welche die Montagne Pelée auf Martinique seit ihrem Paroxysmus im Mai 1902 zeigt. Karl Sapper, der ausgezeichnete Kenner der mittelamerikanischen Vulkane, hat dieselbe in den allerjüngsten Tagen geschildert. Im Januar und März dieses laufenden Jahres hat der Tübinger Geograph eine Besteigung dieses so sehr berüchtigt gewordenen Feuerberges vorgenommen und folgenden Bericht darüber erstattet:

„Hier und da lüftete sich auch der dichte Wolkenschleier ein wenig (der auf dem Berge lag), um uns einen Blick auf die eigentümliche, damals (im Januar 1903) in zwei Zähne gespaltene gewaltige Felsnadel zu gestatten, die aus dem Schuttkegel des Kraters mit erschrecklicher Steilheit, etwa 250 m hoch emporstieg."

Und bei Beschreibung des Kraters anläßlich seiner zweiten Begehung des Vulkans im März 1903 schreibt der Genannte:

„Vor uns dehnte sich ein sichelförmig gekrümmter Graben von etwa 100 m Breite und 80 m Tiefe aus; daraus stiegen weiße Dampfwolken und bläuliche Gasexhalationen an bestimmten Stellen auf, und starker Schwefelwasserstoff verriet uns die Natur von einem Teil der geförderten Gase. Jenseits des Grabens erhob sich aus dem Gipfel eines Schuttkegels mit ungeheuer steilen Wänden, die auf der Südseite sogar senkrecht waren, die großartige Felsnadel des Pelé noch etwa 250 m frei in die Lüfte. Wie glatt gemeißelt sieht man die Felswände emporstarren, ein langer Vertikalabriß zog sich weit durch die einheitliche Felsmasse hin; ihre gelbbraune Oberfläche ist vielfach unter einem weißen Anflug versteckt, der von weitem sich wie Schnee präsentiert. Woraus dieser weiße Anflug besteht, weiß ich nicht zu sagen; die Anwohner versichern, daß die weißen Flächen sich bei anhaltendem Regenwetter wesentlich verringern. Der Anflug wird also zum Teil abgewaschen, löst sich aber offenbar in Wasser nicht oder nicht leicht auf. Von Zeit zu Zeit stürzten größere Felspartien in Form kleiner Bergstürze von der Felsnadel ab und rollten ihre Trümmer auf dem Schuttkegel abwärts unter lautem Gepolter — aber sonst war alles still und ruhig; nur die Nebel wogten ruhlos über uns hinweg, und leider dauerte es nicht lange, so hatten

sie auch den Krater und die stolze Felsnadel unseren Blicken entzogen!"

Am Fuße der Felsnadel, „die das Wahrzeichen des ganzen Bildes geworden ist", entströmen Fumarolen mit starker Tätigkeit, und wenn Steine sich von der Felsmasse loslösten, so wurde für Augenblicke das glühende Innere dieser höchst sonderbaren Erscheinung bloßgelegt. Ob dieses Glühen nur ein zeitweises oder ein dauerndes ist, darüber konnte Sapper nichts feststellen. Die Oberfläche scheint zweifellos hart und erkaltet zu sein.

„Jedenfalls aber ist die Felsnadel des Pelé eines der merkwürdigsten Gebilde, die bisher in der Geschichte unserer Erde beobachtet worden sind: sie ändert ihre Höhe, ohne ihre Gestalt zu ändern; sie wächst über Nacht 2, 4, 10 m und verliert dann wieder zuweilen durch Einsturz einen großen Teil der gewonnenen Höhe. So hatte die Felsnadel durch den von uns beobachteten Ausbruch wieder 25 m von ihrer Höhe eingebüßt, wie Perney am nächsten Morgen feststellte, und ragte mit ihrer Spitze nur noch 1570 m über den Meeresspiegel empor. Diese eigentümlichen Höhenänderungen kann man sich nur durch die Annahme erklären, daß die Felsnadel von unten her höher und höher emporgepreßt werde, und wir müssen daher die Beobachtungsreihen der Pelé-Observatorien

mit dem größten Interesse erwarten, da wir dadurch einen genauen Einblick in eine Wirkungsart der Natur gewinnen können, die wir bisher kaum für möglich gehalten hätten. So zeigt sich uns Mutter Natur immer wieder von einer anderen Seite und mahnt uns zur Bescheidenheit, wenn wir stolz auf die Summe unseres Wissens zu werden beginnen sollten." (Taf. 27, 28, 32.)

Zur Erklärung des Baues der Vulkanberge, in der er wesentlich von den Anschauungen, die wir bisher über diesen Gegenstand vorgetragen haben, differiert, hat nun Alphons Stübel seine uns schon bekannte Lehre vom Magma als dem alleinigen Träger vulkanischer Kraftäußerung weiter ausgestaltet. Wir wollen diese Ansichten des Dresdener Gelehrten im folgenden kennen lernen:

Alle Vulkanberge auf der heutigen Oberfläche, sowohl die erloschenen, als auch diejenigen, deren Aufbau noch nicht völlig abgeschlossen ist, stehen mit geringen Ausnahmen auf einer Basis sedimentärer Gesteine von junggeologischem Alter, und auch für diejenigen, die sich auf älteren oder gar auf altkristallinischen Felsarten erheben, läßt sich der Nachweis dafür erbringen, daß ihre Entstehung ebenfalls eine jugendliche ist. Die Ablagerung dieser Sedimente, welche den Vulkanen zur Unterlage dienen, konnte

vor sich gehen, ohne daß die unterirdischen Kräfte dabei störend eingegriffen hätten. Das setzt voraus, daß diese letzteren an allen Stellen, wo sie sich auf diesem geologisch jungen Boden entfaltet haben, einen plötzlichen und notwendigerweise mit großen Gewaltäußerungen verbundenen Anfang nahmen.

Nun steht die Menge des bei jedem Ausbruch zu Tage geförderten Magmas sicherlich in einem ganz bestimmten Verhältnis zur Größe des Widerstandes, den die vulkanische Kraft bei ihrem ersten Durchbruch zu bewältigen hat, und darum ist auch der Schluß gestattet, daß, wenn bei einem solchen ein mächtiges System von Gesteinsbänken durchstoßen werden muß, auch ein ganz beträchtliches Quantum des Glutbreies herausbefördert wird, eines, das groß genug ist, um Berge von großer Höhe und bedeutendem Umfang aufzubauen. In den meisten Fällen dürfte diese Magmamenge sogar einen beträchtlichen Teil der Masse bilden, die ein vulkanischer Herd engerer Begrenzung überhaupt auszustoßen vermag.

Es muß also vulkanische Berge geben, die durch einen einzigen, aber sehr gewaltigen Ausbruch gebildet werden.

Dieselben sind das Erzeugnis des ersten Erwachens eines peripherischen Herdes, das stets mit Gewaltäußerungen verbunden zu sein scheint, hinter

denen alle späteren Betätigungen desselben Herdes weit zurückbleiben, und daher kommt es, daß der Berg, den der Herd in der ganzen Zeit seines Fortbestehens überhaupt hervorzubringen vermag, schon bei diesem erstmaligen Erwachen in seinem Bau fast vollendet wird.

Ein auf solche Weise, durch einen einzigen, aber sehr gewaltigen Ausbruch entstandener Berg ist ein monogener Vulkan.

Die Mehrzahl aller peripherischen Herde ist durch diesen einmaligen Ausbruch, diese gewaltige Kraftentfaltung erschöpft worden, und daher die große Menge der erloschenen Vulkanberge. Diesen steht jedoch eine weitere, wenn auch kleinere Zahl von solchen Herden gegenüber, bei welchen ein mehrmaliges Erwachen der Tätigkeit angenommen werden muß, wie aus ihren Bauen, aus den polygenen Vulkanbergen hervorgeht. Diese Zeitpunkte erneuter vulkanischer Kraftäußerung sind stets durch längere oder kürzere Ruhepausen voneinander getrennt.

Jeder vulkanische Berg, so wie er heute vor uns steht, muß daher mindestens einen monogenen Kern besitzen, und wenn dieser durch spätere Eruptionen von einem polygenen Gesteinsmantel verdeckt worden ist, so kann diesem jüngeren Zuwachs dem monogenen Kern gegenüber doch nur eine mit Hin-

sicht auf die Entstehungsweise untergeordnete Bedeutung beigemessen werden.

Man darf nicht von der irrigen Voraussetzung ausgehen, daß die Anzahl der verschiedenen Gesteinsarten, welche ein Vulkan gebildet hat, ein richtiger Maßstab für die Zahl der Ausbrüche ist, welche der betreffende Feuerschlund zeitigte. Im Gegenteil! Es ist sogar wahrscheinlich, daß das Magma innerhalb eines, vielleicht auch noch vielfach verzweigten Herdes nicht überall die gleichen Mischungsverhältnisse zeigt. Ist dies doch auch bei künstlichen Schmelzmassen glasiger Schlackenflüsse, die nicht hinlänglich durchgerührt sind, der Fall! Eine chemische und mineralische Verschiedenheit einzelner Partien des Magmas bei großen Ausbrüchen, durch welche vielleicht die Hälfte des Herdinhaltes mit einem Male geleert wird, ist viel möglicher, als ein solches Verhalten des Glutbreies bei einer der kleinen Gesteinsergießungen der Gegenwart, die Jahrtausende hindurch nur noch aus einer bestimmten Zone eines absterbenden Herdes stammen.

Aus dem Charakter der Erzeugnisse eines Vulkans auf seine Entstehungsweise schließen zu wollen, wie man bisher getan hat, das ist ein Fehlgriff. Nicht der petrographische Habitus, sondern allein nur die Topographie der Feuerberge kann uns hier den richtigen Aufschluß geben.

Zu den monogenen Vulkanbergen gehört der Caldera-Berg im Sinne Stübels. Wie man sich die Caldera in der bisher gebräuchlichen Auffassung gebildet denkt, das wurde schon weiter oben dargelegt. Nach dem Ebengenannten ist die Sache allerdings in davon grundverschiedener Weise vor sich gegangen. Rein topographisch gesprochen ist nach Stübel der Caldera-Berg lediglich ein zumeist großer, mehr oder minder kegelförmiger Kraterberg, aber mit einem so sehr bedeutenden Durchmesser seiner Kratereinsenkung im Vergleich zur Höhe und zum Umfange des Berges, daß die allmähliche Aufschüttung dieses letzteren von einem so unverhältnismäßig großen Krater und einem ihm entsprechend weiten Kraterschacht aus, sowie in Anbetracht der tektonischen Verhältnisse des Ringwalles, nicht erklärlich erscheint. Ein weiterer Unterschied der Caldera gegenüber den gewöhnlichen Kratereinsenkungen besteht ferner noch darin, daß ihre kranzartige Umwallung nach der Innenseite des Kessels hin sehr steil abfällt und deren Schichtenbau bloßlegt.

Eine genaue und scharfe Grenze zwischen dem Caldera-Berge und einem normalen Kraterberge ist schwer zu ziehen, zumal es Gebilde vom ersteren Typus gibt, die trotz ihrer geringen Dimensionen dennoch Caldera-Berge sind, und dann wieder solche des zweiten, die, wenngleich im Besitze eines umfang-

reichen Kraters, dennoch nicht zu den Caldera-Bergen gerechnet werden dürfen. Der Unterschied zwischen beiden Ausbildungsformen ist nämlich lediglich ein genetischer, kein topographischer.

Ein monogener Vulkanberg ist gebildet worden durch die einmalige Aufstauung ungeheurer Eruptivmassen, wobei aber zu bemerken ist, daß, wenn man hier von einem einmaligen Ausbruch redet, damit nicht gesagt werden soll, ein Berg von vielleicht 1000 bis 2000 m Höhe und entsprechendem Umfang sei in der kurzen Frist von wenigen Tagen aufgetürmt worden. Vielmehr soll damit nur angedeutet werden, daß die das Baumaterial liefernden Ausbrüche so rasch aufeinander folgten, um den Berg zu vollenden, ehe die Erkaltung und die Erstarrung des glutflüssigen Magmas so weit vorgeschritten waren, die Beweglichkeit der ganzen Masse oder nur eines Teiles derselben zu hemmen. Viele Jahre, Jahrhunderte, ja vielleicht Jahrtausende hindurch kann es gedauert haben, bevor die ganze Bergmasse völlig erkaltet gewesen ist, aber dennoch muß ein solcher Bau als das Produkt einer einzigen Eruption angesehen werden. Das Übereinanderwegfließen nachdringender Schmelzmassen, oder aber auch Einstauung gewaltsam nachschiebenden Magmas in die in stetiger Bildung begriffene Erstarrungshülle, die dadurch gehoben, viel-



Ehemaliger Teich an den Gehängen des Mauna Loa auf Hawaii, von Lavamassen ausgefüllt 1881.

(Siehe Tafel 21.) (Nach Photographie.)

fach aufgerissen und durchbrochen werden mußte, kann den Bau eines monogenen Vulkanberges bewirkt haben.

Wenn nun bei einem derartigen Vorgange, nachdem schon ein beträchtlicher Teil der glutflüssigen Masse ausgestoßen worden war, die treibende Kraft plötzlich abflaut und infolgedessen der Magma-Nachschub rasch aufhört, muß das Innere des aufgeworfenen Berges, soweit es nicht schon der Erstarrung anheimfiel, in den leergewordenen trichterförmigen Schlund, der beim Hervorbrechen der glutigen Materie zur Ausbildung kam und erweitert wurde, zurücksinken, und auch bereits festgewordene Teile mit sich in die Tiefe reißen. So entstand die Caldera, die daher definiert werden muß „als ein Einsturzkrater, der unabhängig von einem etwaigen früher vorhandenen oder auch noch erhaltenen Ausflußkrater, lediglich durch das plötzliche Zurücksinken der Lavamassen im Eruptionsschachte eines monogenen Vulkanberges vor dessen gänzlicher Erstarrung entsteht und den Schlußakt der monogenen Bildung kennzeichnet.“ (Taf. 29 Fig. 1—2.)

Nicht nur glutflüssiges Magma kann an der Zusammensetzung eines monogenen Vulkanberges teilnehmen, auch lose Auswurfsmassen kommen dabei in

Betracht, da der feurige Brei ungeheure Mengen glutzäher Schlacken und angeschmolzenen Schuttes vor sich herschieben muß, um freie Bahn zu gewinnen. „Diese mit Magma durchschichteten und durchkneteten, mit verdrückten, geknickten, abgerissenen und ausgekeilten Gängen durchzogenen Schlackenagglomerate, wie sie z. B. der innere Zirkus des Somma aufgeschlossen zeigt, bilden daher sehr häufig das Hauptmaterial im Bau eines monogenen Caldera-Berges."

Die eigentümlichen Bankungserscheinungen der Lavamassen bei manchen von Stübel als monogene angesprochenen Vulkanbergen erklärt dieser dadurch, daß das glutflüssige Magma stoßweise sich ergossen hat, und zwar in ungeheuren Fluten, die sich nicht strom-, sondern deckenartig meilenweit ausbreiteten, so daß die oberen Lagen der in rascher Aufeinanderfolge herausquellenden Flutwellen über die unteren hinwegschossen, die selbst noch in Bewegung waren, sie also überholten. Auf solche Weise entstünden dann ebenfalls Stratovulkane, deren Bänke bei oft meilenweiter Ausbreitung und relativ geringer Mächtigkeit gar oft eine kaum merkliche Neigung erkennen lassen. Ihr Durchschnitt würde etwas anders aussehen, als derjenige der echten Stratovulkane, wie die auf Tafel 29 stehenden Figuren erläutern. Da nun beim Beginn der Eruptionsphase die meisten glutigen

Massen an die Erdoberfläche heraufbefördert werden, gegen den Schluß hin diese Mengen aber natürlicherweise abnehmen, so wird dieser Vorgang in der allmählichen Verjüngung der Bergmasse nach oben hin sowohl in seiner Bankung, als auch im Material selbst, so durch Vorherrschen von Agglomeraten, bald mehr, bald weniger deutlich zum Ausdruck gebracht werden.

Solche Caldera-Berge sind nach Stübel auf Tenerifa, auf Gran Canaria, Madeira und noch anderswo zu schauen, der Antisana, Altar, der Ruminnahui gehören hierher, auch die berühmte Caldera von San Miguel de la Palma.

Wenn man, um die Annahme der Aufschichtung der Caldera-Berge von ihrer Achse aus zu ermöglichen, voraussetzt, sagt Stübel weiter, wie das bisher von seiten vieler Geologen geschah, daß alle Calderen früher einmal spitze Kegelberge gewesen seien, und daß die Entstehung ihrer weiten Kessel, auch dann, wenn dieselben mehrere Kilometer Durchmesser aufweisen, auf nachträglichen Einsturz oder auf ein späteres Ausblasen zurückgeführt werden müsse — wir haben diese allgemeiner geteilte Anschauung ja schon weiter oben vorgetragen —, so würde beispielsweise die Somma des Vesuvs einmal doppelt so hoch gewesen sein, wie in der Gegenwart. Wann aber,

frägt der Genannte, hat dieser Einsturz, resp. dieses Ausblasen stattgefunden, und wo sind die Schuttmassen geblieben?

Die Antwort auf diese letzten beiden Fragen wäre eigentlich keine allzu schwierige. Stübel sagt selbst einmal bezüglich des Vesuv, daß dieser Berg uns ein ganz bestimmtes Zeitmaß für die lange Ruhepause seiner erstmaligen Erschöpfung gebe, also für den Zeitraum, der verflossen ist, seit der Bau der Somma, seiner Ansicht nach eine monogene Schöpfung, abgeschlossen war, bis zu dem Augenblick des Wiedererwachens der vulkanischen Kraft, die zur Herausbildung des heutigen Vesuvkegels, also zum polygenen Feuerberg geführt hat. Der Anfang dieser Ruhepause, bemerkt er, fällt in die Tertiärzeit, das Ende auf das Jahr 79 unserer Zeitrechnung, auf die berühmte Eruption vom 23. und 24. August, welche die Wiederauferstehung des Vulkans eingeleitet und Herkulaneum, Pompeji und Stabiä verschüttet hat. Ob dieser lange Zeitraum Jahrhunderttausende oder auch Jahrmillionen lang gewesen ist, das mag hier dahingestellt bleiben. Auf müßige Spekulationen dieser Art wollen wir uns nicht einlassen. Wenn wir aber die zerstörenden Wirkungen der Erosion durch die Atmosphärilien oder die Brandungswellen der See hier in Vergleich ziehen, die da und dort auf der Erdoberfläche statt-

gefunden haben, seit die Phase in der Entwicklungsgeschichte des Planeten, welche wir als Tertiärzeit bezeichnen, über das Erdenrund dahingezogen ist, so würde, meinen wir, die Annahme keine allzu gewagte sein, daß während dieser, immerhin für menschliche Begriffe ungeheuren Spanne Zeit auch ein Berg von der doppelten Höhe der jetzigen Vesuvsomma bis zur Hälfte abgetragen und in seinem Inneren gründlich zerstört worden sein könnte. Nach den schönen Ausführungen Brancos ist der Höhenzug der Schwäbischen Alb seit dem Mittelmiocän, also dem jüngeren Tertiär, in seiner Ausdehnung von Norden nach Süden um nicht weniger als 23 km durch Abtragung, die hier im wesentlichen von vorne nach hinten und nur in geringerem Maße von oben nach unten vor sich geht, zusammengeschrumpft. Und dieses Gebirge besteht aus teilweise sehr harten Gesteinen! Sollte da eine Zerstörung eines selbst 2000 m hohen Vulkanberges, bei dem doch nicht nur erstarrte Lavamassen, sondern auch viel lockeres Auswurfsmaterial in Frage kommt, nicht auch angängig sein?

Doch noch mehr!

Einer der kompetentesten Kenner des Vulkans von Neapel, Johnston-Lavis, hat nachgewiesen, daß die Entwicklungsgeschichte dieses Feuerberges verschiedene Ausbruchsphasen gehabt hat, von denen allein

sechs der vorgeschichtlichen Zeit angehören und vor der Bildung des gegenwärtigen, von der Somma umschlossenen Vulkankegels vor sich gegangen sind, demnach sich nur auf die erstere beziehen. Und alle diese Phasen haben großartige Eruptionserscheinungen gehabt, allein die sechste, also die dem Wiederaufleben des Vulkans nach zweifellos mehrtausendjähriger Pause vorhergegangene solche, die hinter dem ersten beglaubigten historischen Paroxysmus im August 79, unter des Titus Regierung, an Gewalt und Wirkung nicht zurückstanden. Wenn man bedenkt, daß die Auswürflinge dieser Phase heute noch an manchen Punkten in der weiteren Umgebung des Vesuv als mächtige Schichtenbildungen sich nachweisen lassen, so ist die Frage, wo denn die Schuttmassen der Ausblasung der Somma geblieben sind, eigentlich beantwortet!

Noch für andere Caldera-Berge hat Stübel die Höhe berechnet, die sie gehabt haben müßten, falls sie ursprünglich Vulkankegel gewesen und nicht auf diejenige Art und Weise entstanden sein würden, welche seiner Meinung nach die allein richtige ist. Für den Altar in Ecuador kämen dann mindestens 8000 m heraus und für den Pichupichu bei Arequipa, dessen Caldera-Durchmesser 6—8 km bei einer Wallhöhe von 2000—2500 m betragen dürfte, mindestens 10000 m! Wie groß bei diesen Vulkanen die Spanne Zeit ge-

wesen ist, die sich zwischen der Vollendung ihres Aufbaues und der Gegenwart einschiebt, die also von dem Moment an, wo die zerstörende Wirkung der Atmosphärilien kräftig an ihrem Leibe einsetzen konnte, verflossen ist, das entzieht sich unserer Kenntnis, läßt demnach Schlußfolgerungen, wie die soeben aus der Geschichte der Somma gezogenen, leider nicht zu.

Die monogenen Vulkanberge können zwar Krater besitzen, doch ist hier deren Vorhandensein durchaus keine Notwendigkeit, wie bei denjenigen, die einer successiven Aufschüttung ihr Dasein verdanken. Ist aber bei den ersteren ein Krater vorhanden, so umschließt derselbe entweder die ursprüngliche Schachtmündung (Caldera-Berge) oder aber er ist zumeist durch die Erkaltungsvorgänge ausgeblasen worden, welche sich innerhalb der Bergmasse selbst vollzogen. Jedenfalls ist er unwesentlich für diese Kategorie von Vulkanen und kennzeichnet nur den Verlauf, welchen deren Bildung in ihrem letzten Stadium genommen hat.

Daß die monogenen Vulkane sehr verschiedenartige Ausbildungsformen bekommen haben, so Domberge, gegliederte Kegelberge, u. s. f., das liegt auf der Hand. In seinem großen Werke über die Feuerberge von Ecuador hat Stübel diesen Gegenstand in Wort und Bild ausführlich behandelt. Ein näheres Eingehen

auf diesen, für unsere Betrachtungen nicht durchaus wichtigen Gegenstand müssen wir uns leider versagen.

Beispiele für die Entstehung solcher Gebilde durch Aufstauung finden sich auch in der Gegenwart noch, und zwar gilt Stübel die bergartige Auftreibung der Lavamasse im Atrio des Vesuvs, von der schon im zweiten Abschnitt unserer Betrachtungen (S. 58) die Rede war, als solches. In vielen Fällen jedoch werden sich sowohl Aufstauung, als auch Aufschichtung miteinander vereinigen, um einen vulkanischen Berg zu erzeugen, dessen Rauminhalt nach Kubikkilometern zu bemessen ist, und zwar derartig, daß der Ausbruchsvorgang mit der ersteren beginnt, und mit der letzteren durch Auswurf und Ergießung endigt. So ist das 1866 in Santorin der Fall gewesen, und so wird es noch häufig vorkommen. Darum bestehen auch vielfach die höchsten Teile der Vulkanberge aus Agglomeraten. In anderen Fällen wiederum wird sich nur die eine oder die andere Art magmatischer Ergießung an der Erdoberfläche betätigen.

Peripherische Herde, die durch einmalige Tätigkeit nicht völlig erschöpft sind, brauchen gewaltige Zeiträume, um wieder neue Kräfte für eine zweite Tätigkeitsperiode aufzuspeichern, die Pause erstmaliger Erschöpfung. Dann kann es der Fall sein, daß

durch Schachtverstopfung am Schlusse der ersten Ausbruchsperiode, etwa herbeigeführt durch die halberstarrten Reste des Caldera-Einbruchs, ein Eruptionshindernis von großem Widerstand geschaffen wird, dessen Überwindung beim Eintritt der zweiten Tätigkeitsphase eine annähernd so beträchtliche Kraftentfaltung erfordert, wie die es war, welche die erste Bahnung des Schachtes nach der Oberfläche notwendig machte.

Ursprünglich also sind alle Vulkane ausnahmslos nur monogene Baue gewesen, und die wiedererwachte Tätigkeit hat denjenigen unter ihnen, die dadurch zu polygenen geworden sind, in den meisten Fällen verhältnismäßig nur recht wenig hinzugefügt. Der monogene Kern, den die polygenen Feuerberge besitzen (S. 243), ist seinem Volumen nach weit größer, als das gesamte Material, das im Laufe der Jahrhunderte ihm successive hinzugefügt wurde. Wie sich nach dieser Auffassung Stübels ein Profil durch den Vesuv darstellen würde, das zeigt die Figur 5 auf Tafel 29. Wir haben bereits früher eine Anzahl solcher mächtiger Vulkanberge monogener Entstehung als Beispiele aufgeführt, und bemerken weiter dazu, daß nach der hier erläuterten Lehre neben dem Vesuv auch der Ätna und der Stromboli, die drei Hauptvertreter der vulkanischen Tätigkeit in Europa,

Baue sind, deren Bergmasse dem allergrößten Teile nach monogener Bildung ist.

Die peripherischen Herde, welche polygene Vulkanbaue erzeugt haben, lassen sich in zwei Abteilungen gliedern, und zwar in solche, die eine zwei-, drei- oder selbst viermalige Tätigkeit gehabt haben, bevor sie auf immer erloschen, also erschöpft wurden. Jede dieser Phasen ist durch Pausen unendlich langer Ruhe von der nächsten getrennt gewesen, die stets aber immer sehr viel kleinere gewesen sind, als diejenige, die zwischen der ersten und zweiten Tätigkeitsperiode lag, der Pause erstmaliger Erschöpfung. (Letztere könnte man eigentlich als primäre Pause gegenüber den anderen, den sekundären, bezeichnen.) Jede dieser ebenerwähnten Tätigkeitsperioden nach der Pause erstmaliger Erschöpfung ist charakterisiert durch eine Neubildung, und zwar durch eine Neben- oder Übereinanderstellung vulkanischer Baue, deren keiner aber, den Ausbruch seiner Entstehung abgerechnet, nochmals aktiv geworden ist.

Die andere Abteilung umfaßt diejenigen polygenen Vulkane, die in dem Sinne der Neubildung zwar nur eine zweimalige Tätigkeit gehabt haben, diese damit aber doch nicht einzustellen brauchten, weil es dem zweiten Ausbruch vorbehalten gewesen ist, einen leicht gangbaren Kommunikationsschacht herzustellen, der



Lavastrom (Blocklava) im Vorrücken. Monti bassi am Aetna, 1. Juli 1886.
(Nach Photographie.)



Lava vom Ausbruch im Jahre 1886, ein Gebäude einschliessend.
Altarelli am Aetna. (Nach Photographie.)

schon selbst nur geringfügige Vorgänge im Herde an der Oberfläche signalisiert, und dadurch den vulkanischen Kräften die Freiheit zu sichern, von nun an in kleinen Pausen und auf Jahrtausende hin für ihr Fortwirken in der Tiefe bis zur Oberfläche Zeugnis abzulegen. Der Umstand, daß sich dieser Kommunikationsschacht gerade bei der zweiten Tätigkeitsperiode bildet, und nicht schon bei der erstmaligen, oder gar bei späteren, scheint die durchgreifende Eigentümlichkeit einer besonderen Klasse peripherischer Herde zu sein, welche fast ausnahmslos die sogenannten tätigen Vulkane (Vesuv, Ätna, Stromboli, Sangai, Cotopaxi, u. s. f.) hervorgebracht haben und bis auf den heutigen Tag zu speisen fortfahren.

Den Beweis für die zweimalige Haupttätigkeit vieler Herde liefert die Bildung der Doppelberge, Somma-Vesuv, die mit förmlicher Aufdringlichkeit in den verschiedensten Vulkangebieten der Erde wiederkehrt, ein Typus, der, mehr oder minder ausgesprochen, auch die meisten von den wenigen noch tätigen Vulkanen der Gegenwart umfaßt. Gerade die häufige Beschränkung auf eine zweimalige Hauptaktion bei einer so allgemeinen Übereinstimmung der verschiedensten Eruptionsbezirke untereinander weist bestimmter als alles andere auf das Wirken der vulkanischen Kräfte in einzelnen Bezirken hin. Im vulkanischen

Doppelberg charakterisiert sich mithin der peripherische Herd am schärfsten.

Für das Vorhandensein solcher Herde von begrenztem Umfang spricht aber auch ferner noch das tote Material, die Schlacken und die Aschen, die ja zuweilen in gewaltigen Massen beim Beginn einer Eruptionsphase ausgestoßen werden. Schlacken bilden sich bei der Erstarrung gasreichen Magmas durch Wärmeabgabe, und ein derartiger Vorgang ist auch in geschlossenen Räumen möglich, also im Herde, wenn auch weit langsamer, als in freier Luft. Die Magmamassen in den Herden erfahren aber aus der Tiefe des etwaigen Zentralherdes wahrscheinlich nicht ebenso große Zufuhr neuer Wärmemengen, als sie davon abgeben, darum müssen in diesen Räumen große Schlackenmassen erzeugt werden. Je mehr Schlackenmassen im Verhältnis zum noch flüssigen Magma im Herde sein werden, um so reicher an derartigen Auswurfsstoffen wird auch der jeweilige Ausbruch sein müssen, und je länger die Pausen zwischen den einzelnen Eruptionen andauern, um so mehr Schlackenmasse wird im Herde aufgespeichert. Ihre Ausstoßung ist nicht etwa ein Beweis großer Lebensfähigkeit des von glutiger Materie erfüllt gewesenen Behälters, sondern im Gegenteil das Zeichen von dessen Absterben.

Auf die soeben gegebenen Ausführungen Stübels

ließe sich viel erwidern. Doch der Zweck dieses Buches ist ja nicht, wissenschaftliche Polemik zu treiben, sondern lediglich nur der, die wichtigsten und am meisten im Vordergrunde stehenden neueren Ansichten über den Vulkanismus vorzutragen. Immerhin können wir uns nicht versagen, hier eine Entgegnung zu machen, die vielleicht auch manchen unserer Leser eingefallen sein mag. Wenn nämlich durch die Expansionsbestrebung und die allgewaltige Expansionsfähigkeit des Magmas verhindert wird, daß durch Ergießen eines Teiles der im Herde eingeschlossenen glutflüssigen Materie an die Erdoberfläche in diesem Hohlräume entstehen können — das zurückgebliebene Magma müßte sich ja sofort so lange ausdehnen, bis es den Herd bis auf den allerletzten Zwischenraum wieder ausgefüllt hätte —, dann ist die Bildung von Schlacken im Herde selbst ausgeschlossen, weil ja eben derjenige Teil des Glutbreies, aus dem sie erstarren, sich bei der Erkaltung noch mehr ausdehnen müßte, daher mehr Platz erforderte, als der Herd für ihn übrig hat, also ausgestoßen werden würde. Aus einem derartigen peripherischen Herde, in dem mehr Wärme durch Schlackenbildung abgegeben wird, als Wärme zugeführt, könnten keine Lavaergüsse mehr erfolgen. Und wenn „die vorherrschend aus totem Material aufgeschichteten Kegel die Schlußstücke der gewaltigen Grabmonumente sind,

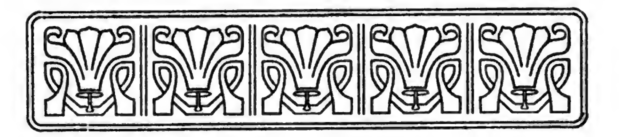
die sich die vulkanischen Kräfte dort, wo sie ihre einstige Tätigkeit walten ließen, errichteten oder zu errichten noch fortfahren", wie Stübel das will, so ließe sich dagegen einwenden, daß bei vielen Eruptionen auf Schlackenauswürfe großartigen Maßstabes später doch noch starke Lavaströme erfolgt sind. Die Schlackenkegel der Puys in der Auvergne, die nach ihrer Aufschüttung von einem aus ihrem Schlund hervorgebrochenen Lavastrom durchbrochen wurden, sind Beispiele dafür, und die geologische Geschichte der Somma verzeichnet ebenfalls Schlacken- und Aschenauswürfe von bedeutendem Umfang.

Große Anologien bestehen nach Stübel zwischen den Caldera-Doppelbergen der Erde und den vulkanischen Erscheinungen des Mondes, dessen Ringgebirge Caldera-Bildungen im großen Maßstabe darstellen und auch nur monogene Baue sind. Lediglich der Rauminhalt der Herde, die augenscheinlich auf dem Monde größer waren, bestimmt den Unterschied zwischen den selenischen und den tellurischen Gebilden, nicht aber der Eruptionsprozeß, der hier und dort ein durchaus gleichartiger gewesen ist. Die konzentrischen Ringgebirge sind durch mehrfache, rasch hintereinander erfolgte Ausbrüche im Verlauf der ersten Eruptionsperiode eines Herdes geschaffen worden.

Aber die Bildung der Vulkanberge ist keineswegs

eine Notwendigkeit für die Betätigung der vulkanischen Kräfte, und ihre Aufschichtung entspringt jederzeit nur der Mitwirkung nebensächlicher Bedingungen. Die eigentliche und normale Ablagerungsform glutflüssigen Magmas ist die deckenartige Ausbreitung, für die es nicht nur auf dem Monde, sondern auch auf der Erde beweiskräftige Beispiele gibt, so die großen Lava-Ebenen des Columbia-Gebietes in Nordamerika und der Dekhan-Landschaft in Vorderindien, die 5—600000 qkm Flächenausdehnung besitzen, und mehrere hundert, stellenweise sogar mehrere tausend Meter mächtig sind. Weniger umfangreiche plateauartige Ablagerungen haben Island, Kleinasien, Syrien, Arabien u. s. f. aufzuweisen. „Was aber bedeuten solchen Gesteinsmassen gegenüber selbst die größten unter den Vulkanbergen des terrestrischen Festlandes?"

Die Bergform in den Ablagerungen der Eruptionsprodukte ist stets das Anzeichen eines absterbenden Herdes, die monogene als erstes, die polygene als weiteres Stadium dieses Hinsiechens. Und auch die gewaltigen deckenartigen Ergüsse des Magmas, von denen soeben die Rede war, sind nur noch ein schwacher Nachhall derjenigen, welche in noch früheren geologischen Zeiten aus dem Zentralherde hervorgequollen sind!



Sechster Abschnitt.

Unterseeische Eruptionen. Tätige und erloschene Vulkane.

Unterseeische Ausbrüche. Thoulets neue Darstellungen dieser Vorgänge. Sabrina. Santorin. Ferdinandea. Die Bogoslof-Vulkane. Tätige und erloschene Vulkane.

Sehr interessante und wertvolle Studien über die unterseeischen Vulkane verdankt die geologische Wissenschaft in allerneuester Zeit dem französischen Gelehrten J. Thoulet, dessen Spezialgebiet die geologisch-kartographische Darstellung des Meeresbodens ist. Wenn die Vulkane des Festlandes, so meint der Ebengenannte, bezüglich ihrer Tätigkeit und ihres Aufbaues schon ziemlich bekannt geworden sind, wenn die Wissenschaft hier manche schönen Erfolge erzielen durfte, so verhält es sich leider nicht so mit den unterseeischen Ausbruchsstellen. Ja, viele Gelehrte sind sogar der Ansicht, daß deren Existenz überhaupt recht fraglich sei. Die nach der Katastrophe auf Martinique dahin abgesandte Kommission hat erklärt, daß sich auf dem in der Nachbarschaft des Feuerkegels belegenen Meeres-

grunde keine topographischen Veränderungen vollzogen hätten. Mag sein, daß sie dazu berechtigt war! Noch besser hätte sie getan, wenn sie das weniger bestimmt ausgesprochen hätte. Rund um die Inselwelt der Antillen herum haben da und dort Brüche und Zerreißungen der untermeerischen Kabel stattgefunden, und es ist die Annahme, daß dergleichen Ereignisse vor sich gegangen sein sollten, ohne die Folgen von einem Wechsel in der Topographie des Meeresbodens gewesen zu sein, recht schwer zu verstehen. Man muß hier ja beachten, daß derartige Erscheinungen nur auf einen verhältnismäßig kleinen Flächenraum beschränkt bleiben, und daß deren Feststellung sehr genaue und sehr mühsame Untersuchungen erfordert, denn unser Blick kann die Tiefe leider nicht durchdringen, und das Lot erteilt doch jeweils nur über einen einzigen Punkt genaueren Aufschluß. Auch zuverlässige Seekarten gibt es nur erst wenige. Immerhin sind deutliche Beweise für submarine Eruptionen vorhanden, wenn es bisher der Wissenschaft auch noch nicht gelungen ist, die genaue Lage eines solchen unter dem Wasser des Ozeans verborgenen Vulkans festzustellen.

Im Jahre 1811 tauchte die Insel Sabrina in der Nachbarschaft der Azoren aus den Tiefen des Weltmeeres auf, Ferdinandea an der Südküste von

Sizilien hat seit ihrem ersten Erscheinen im Jahre 1832 mehrfach wieder ihr feuriges Felsenhaupt aus dem Ozean erhoben, der Georgios im Archipel von Santorin hat zischend und fauchend die Meeresfluten durchbrochen und sich einen dauernden Platz über ihrem Spiegel erobert, im hohen Norden, bei Alaska, haben sich die Bogoslof-Vulkane aus dem Meeresgrunde aufgetürmt, von denen noch im folgenden die Rede sein soll, und im Mexikanischen Golf ist die unter 22° 34′ 14″ und 93° 38′ 16″ belegen gewesene Insel Bermuja infolge des Ausbruchs der Montagne Pelée ganz plötzlich wieder in der Tiefe der Wogen verschwunden.

Derartige Ausbrüche finden meist in verhältnismäßig wenig tiefen Meeresräumen statt, womit auch das Auftauchen der eruptiven Massen über dem Wasser genügend erklärt sein dürfte. Für Sabrina scheint das jedoch nicht zuzutreffen, denn Lotungen an der Stelle des nunmehr wieder versunkenen Eilandes haben Tiefen von 3500 m ergeben. Aber die Azoren und die diese Inselwelt umgebenden Meeresteile sind deshalb besonders interessant, weil sie gewissermaßen im Schnittpunkt zweier großer Zonen vulkanischer Tätigkeit liegen. Die eine derselben umzieht den Planeten und läuft über Zentralamerika, Mexiko, die Antillen, Azoren, Südspanien, den Ätna, Vesuv,

Santorin, das Rote Meer, den Persischen Meerbusen, die Bahreïn-Inseln und den malayischen Archipel, während die andere der Achse des Atlantischen Ozeans folgt, und zwar über Tristan d'Acunha, St. Helena, Ascension, die Kap-Verden, Kanaren, Azoren, Madeira und die nördlichen Regionen mit dem vulkanreichen Island.

Diese Achse des Atlantik ist bekannt als eine Linie, längs welcher sehr häufig Meeresbeben auftreten, Erscheinungen, die sich durch ganz besondere Stöße an Fahrzeugen, die eben dann durch diese Gegenden segeln oder dampfen, kundzugeben pflegen. Man weiß heutzutage bestimmt, daß solche stoßartige Erschütterungen der Schiffe die Folge erdbebenartiger Phänomene auf dem Meeresgrunde sind, zumal sie sich meist als gänzlich unabhängig von irgendwelchen vulkanischen Ausbrüchen auf dem Festlande erwiesen haben. Noch weitere Belege für das Vorhandensein submariner Ausbruchsstellen geben die so vielfach beobachteten Kabelbrüche und die ganz eigentümliche Art und Weise, in der sich dieser Vorgang vollzieht. Die Kabel sehen nämlich aus, als ob sie mit Gewalt zusammengerissen worden seien. Dann lassen sich auch tatsächliche Umwälzungen am Meeresboden konstatieren, so im griechischen Meere und im malayischen Archipel. Von Ausströmungen von Schwefelwasserstoffgasen auf dem Meeresgrunde

bei Ajaccio, zwischen den Sanguinaires-Inseln und der Küste, die in die Tiefe gebrachte Gegenstände von Silber anlaufen oder matt werden lassen sollen, wird ebenfalls erzählt.

Englische Kabelgesellschaften haben besonders in den jüngstverflossenen Jahren an den Gestaden der verschiedenen vulkanischen Eilande Lotungen zum Zweck der Legung der Telegraphendrähte vornehmen lassen, die klar und deutlich dartun, daß diese Inseln einen Steilabsturz in die Abgründe des Meeres besitzen und von tiefen Rinnen durchzogen werden, genau so, wie die Vulkane des Festlandes. Die submarinen Gehänge von Tristan d'Acunha zeigen 33°, die von der Paulsinsel sogar 62°, und überall, im Golf von Guinea, an den Azoren, an Jan Mayen, den Liparischen Inseln, an Santorin, der Amsterdaminsel und den Eilanden des Banda-Meeres und des Gesellschaftsinseln-Archipels lassen sich ähnliche Verhältnisse erkennen. Überall, wie das auch bei den Feuerbergen auf den Kontinenten zu sehen ist, ist das Gehänge in unmittelbarer Nähe des Kraters immer am größten.

Manche dieser Vulkaninseln erheben sich auch auf einem gemeinsamen Fundament und lösen sich erst in einer gewissen Tiefe in einzelne Pfeiler auf, wie die Azoren, die Gesellschafts-Inseln, die Fidschi-, die Samoa-Eilande und andere mehr. Nachdem sich auf

dem Meeresboden aus den festgewordenen eruptiven Massen erst ein massiver gemeinsamer oder einzelner Grundsockel mit geschrägten Flanken gebildet hatte, mußte dieser an Höhe und Umfang infolge der noch später ausgebrochenen feurig-flüssigen Materialien in der Gestalt von Laven oder losen Gesteinen immer mehr und mehr zunehmen. Und auch ferner noch, wenn der Vulkankegel sich schon über den Wellen erhoben hatte, trugen die von seinen Abhängen in die Fluten rollenden Bruchstücke viel zur Verfestigung und Ausdehnung des vulkanischen Unterbaues bei. Mag sein, daß auch von unten her in den Sockel sich einstauende Magmamengen dabei mitgearbeitet haben.

Auf solche Weise haben sich manche submarine Vulkane im Laufe der Zeiten bis über den Meeresspiegel emporrecken können, und wenn das möglich gewesen ist, warum sollte es dann nicht ebenfalls welche geben, die noch auf ihrem Wege dahin begriffen sind, wenn vielleicht auch noch recht fern vom Ziel befindlich? Solche, die noch tief unten in den salzigen Wassern des Ozeans versteckt sind, und deren Vorhandensein oft nur ganz zufällig durch eine besonders glückliche Lotung entdeckt wird?

Nun gibt es wahrscheinlich noch ein anderes Mittel, das uns bei der Auffindung submariner Ausbruchsstellen dienlich sein könnte. Das ist die Unter-

sind, und zwar mit Beziehung auf die Eruptionsstelle, aus der sie herausbefördert wurden, ganz einerlei, ob diese in der Form eines einfachen Schlotes oder einer spaltenartigen längeren Kluft auftritt. Aller Wahrscheinlichkeit nach werden die sehr viel leichteren Bimssteine am weitesten entfernt von dem Eruptionsorte vorkommen, während naturgemäß die schlackenartigen Teile, die blasigen Gläser und besonders die dichten Obsidiane in größerer Nähe dieses letzteren liegen bleiben müssen. Und so wird es dann gelingen, mit Hilfe der Verbreitung dieser vulkanischen Massen auf dem Meeresgrunde die ungefähre Lage des submarinen Feuerschlotes zu ermitteln, dessen genauere Situation alsdann durch Lotungen gesucht werden müßte, zumal sehr wahrscheinlich entweder eine kraterartige Depression des Bodens mit jäh abfallenden Konturen oder auch eine domartige und abgeschrägte Erhöhung sein Dasein anzeigen werden. Die geringen Mengen von Tiefseeschlamm und das Hervortreten des nackten Felsbodens an der betreffenden Stelle des ozeanischen Bodens werden weitere Kriterien für diese Feststellungen liefern, wenn sich diese Umstände leider auch nur auf negative Weise kundgeben werden, nämlich durch den Mangel jeder Grundprobe im Fangapparate des Lotes, oder auch durch den Riß und den gänzlichen Verlust dieses letzteren.

Was nun das Aussehen der von einem unterseeischen Vulkan aus den Tiefen der Erde herausgeschleuderten Massen betrifft, so verdanken wir Thoulet auch in dieser Hinsicht äußerst wertvolle Mitteilungen. Zuerst etwas über die Schlacken! Schwarz, braun oder rötlich gefärbt und sehr porös gleichen sie den in feine Teilchen zersprengten festländischen Gebilden dieser Art. Oftmals aber haben sie infolge ihres langen Verbleibs im Meerwasser eine chemische Umwandlung durchgemacht, die durch eine Oxydierung des darin enthaltenen Eisens verursacht wird und ein Zersetzungsprodukt hervorruft, das man als Palagonit zu bezeichnen pflegt. Die vulkanischen Gläser sind blasig oder auch dicht wie Bouteillenglas, und wer sie einmal gesehen hat, verkennt sie wohl nicht wieder. Der Challenger hat sogar nußgroße Stücke davon mitgebracht, bei denen nur der Kern noch glasig war, während die ganze Hülle aus Palagonit bestand. In der Umgebung der Azoren sind diese Dinge von hellgrüner Farbe, und wahrscheinlich wird das in anderen Gebieten des Ozeans ebenso sein. Dabei sind sie äußerst dicht, wie etwa zerstoßenes und ausgewaschenes Flaschenglas und höchstens ein bis zwei Zehntel eines Millimeters groß. Wenn man gewöhnliches Glas von dunklerer Färbung zerstößt und dann durchwäscht, oder auch Obsidian von Mexiko und den Liparen, kann

man diese submarin gebildeten vulkanischen Gläser täuschend nachmachen. Thoulet hat, um über die Entstehungsweise dieser Gesteine Aufschluß zu erhalten, derartiges Glas und solche Obsidiane im Tiegel geschmolzen und den heißen Schmelzfluß mit kaltem Wasser übergossen, der sofort zersprazt wurde, und zwar in äußerst kleine eckige oder rundliche Fragmente, förmliche mikroskopische batavische Tropfen, die schon bei einem ganz leichten Stoß in winzige Stäubchen zerfielen. Diese künstlich erzeugten Splitterchen glichen in jeglicher Weise so sehr den submarinen vulkanischen Staubmassen, daß man beide Sorten miteinander vermischen könnte, ohne daß es gelänge, die echten von den nachgemachten zu unterscheiden.

Das letzte hier zu betrachtende vulkanische Produkt ist der Bimsstein, der graue Farbe besitzt, daneben eine ausgesprochene Fluidalstruktur. Es ist die auf dem Meeresboden am weitesten verbreitete Gesteinsart und findet sich nicht nur an bestimmten Plätzen, sondern zuweilen auch vereinzelt noch in großer Entfernung von jedem vulkanischen Areal, und dann auch in verhältnismäßig großen Stücken. Diejenigen Bimssteine, die von festländischen, oder besser gesagt, von übermeerischen Eruptionen herstammen, sinken nicht im Wasser unter, es sei denn, daß sie zu feinen staubförmigen Teilchen zerrieben sind. Alles, was von

derartig entstandenen Bimssteinen in größeren Stückchen ins Meerwasser gerät, bleibt an der Oberfläche und fällt dem Spiel der Wellen zum Opfer. Die Strömungen tragen diese Dinge oftmals in weite Fernen, bis sie irgendwo einmal ans Ufer geworfen werden und dort liegen bleiben, um vielleicht recht bald wegen ihrer sehr großen Zerreiblichkeit zu Sand zu zerfallen.

Anders die aus submarinen Vulkanen stammenden Bimssteine! Bei ihrem Austritt aus dem Schlot sind ihre Poren erfüllt von heißen Gasen, und sobald sie in Berührung mit dem kalten Meerwasser kommen, werden sie zerspratzen, genau so wie der Schmelzfluß, von dem weiter oben die Rede war. Das Wasser dringt in ihre Poren ein und beschwert sie. Unter gewissen Umständen mögen ihre Bruchstücke in den Stand gesetzt werden, bis zu einer bestimmten Höhe aufzusteigen, sofern ihre Dichtigkeit derjenigen des Wassers absolut gleich ist, und hier schwimmen, meist aber müssen sie am Boden bleiben und hier die schon beschriebene palagonitische Umwandlung erleiden. Zur Meeresoberfläche gelangen sie aber niemals. Man kann das auf experimentellem Wege höchst einfach nachweisen. Erhitzt man ein Stück Bimsstein, und wirft es darauf in ein Gefäß mit Wasser, so taucht es unter und verharrt auf dem Boden des Gefäßes, legt man jedoch ein kaltes Stück hinein, so schwimmt das-

selbe oben und bleibt dabei, selbst wenn man das Wasser im Gefäß gehörig durchschüttelt. Thoulet sagt, er habe solche Bimssteinbrocken jahrelang auf diese Weise schwimmend erhalten. Größere und kleinere Stücke des submarinen Bimssteins können nun von den in tieferen Regionen des Ozeans dahinfegenden Strömungen weithin mitgeführt werden, wie wir denn solche da und dort in großer Ferne von ihrem mutmaßlichem Ursprungsorte finden. Davon war ja schon weiter oben die Rede. Auch bei dem Ausbruchsvorgange selbst dürften Strömungen erzeugt werden, die ihrerseits schon den Anfang zu der Verbreitung des Bimssteines auf dem Boden des Ozeans machen.

Auf welche Weise mag nun eine submarine Eruption vor sich gehen? Der Boden öffnet sich und speit seine glutflüssigen Massen aus. Die Wasserdämpfe werden im Meerwasser sofort kondensiert werden müssen, die Schwefelwasserstoff-, schwefligsauren, salzsauren Gase und die Kohlensäure nimmt das Meerwasser ebenfalls sogleich in sich auf. An der Wasseroberfläche ist nichts bemerkbar gewesen, höchstens das einige der Auflösung zufällig entgangenen Gasblasen zerplatzen werden, wohl wegen des Seegangs in kaum wahrnehmbarer Weise. Alles, was von den in der Tiefe erfolgenden Umwälzungen oberflächlich zu verspüren sein wird, beschränkt sich im wesentlichen auf

die schon erwähnten Stöße, die gerade über der Eruptionsstelle dahinfahrende Schiffe treffen, oder auch auf eine sehr große Welle, die urplötzlich auf dem Meeresspiegel auftaucht, eine von den Seeleuten wohlgekannte Erscheinung. Diese Sturzwelle vermag weitere Flächenräume am Meeresgrunde mit großer Geschwindigkeit zu durchmessen; erreicht sie dann die Nähe des Festlandes, wo das Wasser seichter wird, dann muß sie emporkommen, und zwar wohl noch in ihren Wirkungen verstärkt durch Intermittenzbewegungen, die sie Unebenheiten des Seebodens in der Nähe des Ufers und ähnlichen Dingen verdankt. Das sind dann unheimliche Ereignisse, die schon viele Opfer gefordert haben. Denn das von einer derartigen mit rasender Eile heraufbrechenden Sturzwelle betroffene Fahrzeug wird förmlich hochgehoben, geht aus seinen Fugen und muß sofort sinken. In nächster Nähe der über dem Ausbruchspunkt belegenen Meeresstelle müssen wohl auch Wasserwirbel und heftige Strömungen hervorgebracht werden, die man natürlicherweise bei hoher See und schlechtem Wetter kaum festzustellen vermögen wird. Nur ganz ausnahmsweise wird man die richtige Ursache dieser Dinge mit Sicherheit ermitteln können.

Wie sieht es aber während dieses Vorganges auf der Meeresoberfläche in den Tiefen der See aus?

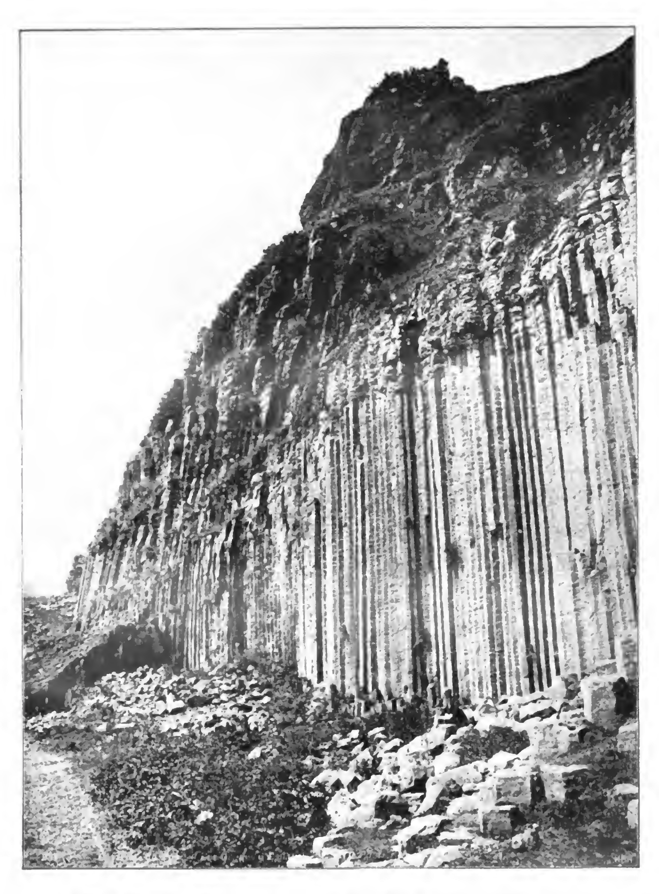
Die vom Feuerschlund ausgeworfenen glutflüssigen Massen müssen sich, sobald sie mit dem Meerwasser des Grundes, das nur wenige Grade Wärme besitzt, zusammentreffen, genau so verhalten, wie der batavische Tropfen; sie werden in ihren oberflächlichen Teilen sogleich zersprazen. Je nach der Natur des emporgedrungenen Magmas werden entweder schlackige Gebilde, blasige oder dichte Gläser, oder auch Bimssteine entstehen. Aber die im Glutbrei vorhandenen heißen Dämpfe müssen sich gleichzeitig kondensieren und infolgedessen die Gesteinsbrocken und Gesteinssplitter am Aufsteigen an die Meeresoberfläche hindern. Von dem Umfang und der Dichtigkeit der Stücke und Stückchen hängt es dann ab, ob sie lediglich durch die aus dem Eruptionsvorgange resultierenden Bewegungen nur auf eine geringe Entfernung von der Schlotmündung fortgetrieben werden, oder ob ihnen, wie etwa den Bimssteinen, und besonders den größeren und blasigen Brocken dieser Felsart, die Möglichkeit gegeben ist, bis zu einer gewissen Höhe im Meerwasser emporzukommen, um hier von den Strömungen erfaßt und weit hinweg getrieben zu werden. Immerhin nehmen auch diese, wenn auch langsam, Wasser auf, das sie nach und nach beschwert und im Verlauf ihres Weges ihr allmähliches Wiederhinabsinken in die tiefen Meeresräume zur Folge haben kann, so daß

sie dann, wenn auch, wie schon gesagt, in weiter Entfernung von ihrem Ursprungsorte, endlich am Boden liegen bleiben.

Alle diese eruptiven Materialien erleiden in größerem oder geringerem Maße die Umwandlungen in die palagonitische und in ähnliche Substanzen, von denen schon weiter oben das Nötige mitgeteilt worden ist.

Wenn endlich der in Zerspratzung übergegangene Teil der ausgebrochenen Glutmasse auf dem Meeresgrunde verteilt und fortgebracht sein wird, bleibt eine dichte, an ihrer Oberfläche wohl mit größeren blockartigen Stücken übersäte Erhebung auf dem Meeresboden zurück, die unter der nunmehr vorhandenen Erstarrungskruste wie unter einer Schutzdecke einer langsamen Erkaltung entgegengeht. Dieses Gebilde, das auch von durch Abkühlung hervorgerufenen Klüften durchzogen werden mag, muß wohl recht wahrscheinlich einem Hügel mit geneigtem Gehänge gleichen. Durch erneute Ausbruchstätigkeit an derselben Stelle wird der Hügel im Laufe der Zeit höher und höher, um endlich den Sockel einer Vulkaninsel zu bilden, die eines schönen Tages aus den Meereswogen emportauchen wird, gerade so, wie dies bei der Amsterdam-Insel, der Pauls-Insel und noch so vielen anderen, die im Weltmeer zerstreut sind, der Fall gewesen ist.

Einige Beispiele derartiger submariner Eruptionen



Säulenförmige Absonderung an basaltischer Lava, Auvergne.
(Nach Photographie.)

mögen hier noch aufgeführt werden. Wir haben die wichtigsten derselben schon im Vorhergehenden kurz berührt und wollen unsere Bemerkungen darüber noch in etlichen Punkten ergänzen.

Sabrina im Archipel der Azoren hat in geschichtlichen Tagen fünfmal von sich reden gemacht, aber immer nur für kurze Zeit. 1658 und 1691, dann 1720 und 1811. In diesem letztgenannten Jahre kam eine Vulkaninsel von etwa 90 m Höhe zur Ausbildung, die eine zentrale Krateröffnung besaß. Ihr Leben war nur ein recht ephemeres, und schon nach wenigen Jahren blieb von Sabrina nicht viel mehr übrig. Anno 1867 fand vor Terceira ein neuer Ausbruch statt. Eine Insel tauchte dieses Mal nicht aus den Wogen auf, wohl aber erschienen Schlacken an der Meeresoberfläche und Flammen, die vom Verbrennen der aufsteigenden Gase herrührten (Kohlenwasserstoffe und reiner Wasserstoff).

Santorin, eine der Zykladen, ist ein alter, vom Meere durchbrochener Krater, der mancherlei Ausbrüche erlebt hat. Im Jahre 97 vor unserer Zeitrechnung erstand Palaea-Kaimeni etwa im Zentrum dieser vulkanischen Bucht, 46 nach Christus bildete sich eine weitere Insel, die sich mit der ersteren vereinigte; durch fernere Ausbrüche im Jahre 726, dann 1573 nahm das neue Eiland zu. Das 18. Jahrhundert

sah die Geburt einer zweiten größeren Insel im Golf von Santorin. Nea-Kaimeni kam zum Vorschein. Die Anfänge seiner Entstehung fallen in die Jahre 1707 bis 1712. Damals war es schon zu einem kegelförmigen Gebilde von etwa 100 m Höhe herangewachsen, das einen Krater von ungefähr 80 m Durchmesser hatte. Nur wenige Spuren der vulkanischen Tätigkeit zeigten sich in den folgenden 150 Jahren, bis im Januar 1866 die unterirdischen Gewalten von neuem und in großartiger Weise entfesselt wurden. Schwefelwasserstoffgase und weiße Dämpfe entströmten dem Meerwasser, das zu sieden anfing, und am 4. Februar stieg ohne besonderes Geräusch eine glutige Masse aus der Tiefe auf, die bereits nach wenigen Stunden schon 25 m lang und 8 m breit geworden war, bei 10 m Höhe, und sich drei Tage später schon in einen Berg von 70 m Länge auf 30 m Breite und 20 m Höhe verwandelt hatte, den man dem griechischen König zu Ehren „Georgios“ taufte. Flammenerscheinungen, die auf dem glühenden Berge auf- und niedertanzten, sind dabei beobachtet worden.

Gleich darauf fand die Vereinigung des neuen Vulkans mit Nea-Kaimeni statt, während im Südwesten dieser Insel noch ein anderes Riff aus dem Wasser emporbrodelte, das ebenfalls stetig an Höhe und Umfang heranwuchs und den Namen Aphroëssa

erhielt. Im Mai war auch dieses in Zusammenhang mit Nea-Kaimeni getreten.

Inzwischen war der Georgios nicht untätig geblieben. Mehrfache Ausbrüche von glühenden Steinen und Aschen waren aus seinem Scheitel erfolgt, jedoch ohne daß es zu einer eigentlichen Kraterbildung gekommen wäre. Diese Massen wurden aus Spalten herausgeschleudert, die den Berg in nordsüdlicher Richtung durchzogen. Im August kam dann eine Krateröffnung zur Entstehung, welche Lavamassen aussandte, die viel zur Vergrößerung des Eilandes beitrugen, in der Gestalt 1 km langer Ströme, die aber 100—200 m Dicke besaßen. Im Laufe der darauffolgenden Jahre wiederholte der Georgios diese Ausbrüche, und im Herbst 1870 war Nea-Kaimeni etwa viermal größer geworden, als vor Beginn der Eruptionsphase von 1866.

Ähnlich wie die Geschichte Sabrinas ist diejenige der Insel Julia oder Ferdinandea, deren Geburt in das Jahr 1831 fällt. Am 28. Juni stiegen unweit der Südküste von Sizilien, zwischen dieser und Pantellaria, gewaltige Rauchwolken aus dem Meere auf, das Wasser wurde wie bergartig aufgetürmt, und am 18. Juli kam die Insel zuerst zum Vorschein, aus deren Krater ständig Aschen und Schlacken ausgeworfen wurden. An der betreffenden Ausbruchsstelle

war durch Lotungen kurz vorher eine Tiefe von etwa 200 m gefunden worden. Die Rauchsäule wurde immer mächtiger und soll bis 500 m hoch in die Lüfte aufgestiegen sein, die Insel nahm immer mehr zu; im Anfang August hatte sie einen Umfang von 4800 m. Aber bereits Ende September war das nur aus ausgeworfenen losen Massen und nicht etwa aus Laven zusammengesetzte Eiland wieder auf 700 m Umkreis reduziert, bei 33 m Höhe, und Ende Dezember war es völlig verschwunden. Die betreffende Stelle blieb aber ziemlich seicht und zeigte lange Zeit hindurch nur einen Wasserstand von 2 m.

32 Jahre später erfolgte ein neuer Ausbruch im Juli 1863. Eine Insel von 60—80 m erstand, hatte aber alsbald das gleiche Geschick wie ihre ältere Schwester. Und abermals, im Oktober 1891, regte sich hier die vulkanische Macht. Durch heftige Erderschütterungen wurde Pantellaria betroffen, während wenige Kilometer davon, im Nordosten eine wohl 1 km lange Barre heißer Lavablöcke auf dem Meeresspiegel erschien, die Rauch und Dampf unter zischenden Geräuschen von sich gaben. Nach zwölf Tagen kam alles wieder zur Ruhe.

In der Bering-See ereignete sich im Frühjahr 1796 folgendes: Im Archipel der Aleuten kam unter erdbebenartigen Erscheinungen und donnerartigem

Getöse eine dampfende Gesteinsmasse zum Vorschein, die zur Insel heranwuchs, und aus deren Krater Steine 30 Meilen weit, bis Unnak, geschleudert wurden. 1806 besuchte Langsdorf die dortige Gegend und beschrieb das Eiland als ein pfeilerartiges Gebilde mit senkrechten Wänden. 1817 hatte es einen Umfang von $2^1/_2$ Meilen, 350 Fuß Höhe und einen drei Meilen in die See sich hinein erstreckenden Rand von Bimssteinen. Damals wurde es auch mit einem Namen belegt und Joanna Bogoslova genannt. Tebenkof sah den neuen Vulkan im Jahre 1832, und berichtete, derselbe hätte nunmehr 1500 Fuß Höhe bekommen, sei von pyramidaler Gestalt und bestünde aus einer Anzahl steiler Klippen, die aussähen, als müßten sie jeden Augenblick zusammenbrechen. So blieb im wesentlichen die Gestalt des Feuerberges, bis ihm im September 1883 ein Genosse entstand, der qualmend und dampfend in seiner Nachbarschaft aus dem Wasser emporkam, seinen Bruder bald an Umfang überragte und innerhalb kurzer Zeit zu einem spitzen Kegel von 800—1200 Fuß Höhe heranwuchs. Dieses neue Ungetüm erhielt den Namen „New-Bogoslof", während von anderer Seite derjenige „Grewingk-Vulkan" zu Ehren des russischen Forschers Grewingk vorgeschlagen wurde.

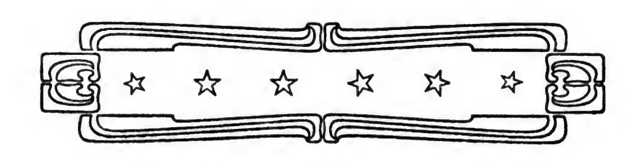
Die Offiziere des amerikanischen Regierungs-

dampfers „Corwin“ besuchten den Vulkan am 21. Mai 1884 und waren die ersten, die ihren Fuß auf seine Felsen gesetzt haben. Sie maßen die Höhe des Berges, etwa 500 Fuß, und stellten die Lage der kraterähnlichen Spalte fest, aus der Schwefeldämpfe, Wasserdampf und noch andere Dinge hervorkamen. Diese befand sich etwa im obersten Drittel des Berges, von dessen Gipfel gleichfalls Dampfmassen ausgesandt wurden. Allmählich bildete sich auch eine Art Landbrücke heraus, die den alten Vulkan mit dem neuen verband, doch verschwand diese wieder, und war im Jahre 1891, wo beide Berge wieder durch die See voneinander getrennt waren, nicht mehr zu beobachten. In neuester Zeit sind die beiden Bogoslof-Vulkane von Hart Merriam, einem amerikanischen Forscher, besucht und beschrieben worden. Den Darstellungen dieses Gelehrten haben wir die hier angeführten Mitteilungen entnommen.

Schon früher (Seite 134) hatten wir Gelegenheit, die Frage, was ein tätiger und was ein erloschener Vulkan ist, zu berühren. Wir müssen zum Schluß dieser Betrachtungen noch einmal kurz darauf zurückkommen. K. Fuchs hatte schon vor Jahren den Vorschlag gemacht, alle Vulkane, die seit 300 Jahren keine Spur von Tätigkeit mehr zeigten, als erloschen zu betrachten, was für Gegenden, wo neben ruhenden auch tätige Feuerberge vorkommen, Geltung haben

mag, wie Supan betont. „Denn hier ist die Ruhe vielleicht nur Schlaf, nicht Tod.“ Den Puy de Dôme in der Auvergne dagegen oder den Förmerich in der Eifel kann man nach dem Genannten mit einigem Recht erloschene Vulkane nennen, „weil die vulkanischen Gebiete, in denen sie liegen, seit Menschengedenken keinen Ausbruch mehr erlebt haben.“ Wir unterscheiden besser tätige und erloschene Vulkangebiete, statt von tätigen und erloschenen Vulkanen zu reden. „Die ersteren enthalten zuweilen nur tätige und schlafende Vulkane, die letzteren dagegen nur erloschene Vulkane.“

Fuchs hat 325 tätige Vulkane gezählt, eine, wie Supan meint, entschieden zu niedrig gegriffene Zahl, die aber selbst verdoppelt noch geringfügig sein würde gegenüber der gewaltigen Reihe der erloschenen Feuerberge. Ob daraus ein Schluß darauf zu ziehen ist, daß die vulkanische Kraft in der Gegenwart im Erschlaffen begriffen sei, wie dies ja auch Stübel annimmt, das mag und muß vorderhand noch unentschieden bleiben. Wir für unseren Teil wollen nicht leugnen, daß uns die Annahme, die Intensität der unterirdischen Gewalten habe im Verlaufe der Entwicklungsgeschichte unseres Planeten immer mehr und mehr nachgelassen, durchaus logisch erscheinen muß.



Siebenter Abschnitt.

Die vulkanischen Ereignisse auf den Kleinen Antillen im Jahre 1902.

Allgemeines. Vulkanische und seismische Tätigkeit im Caribischen Meere. Martinique und der Mont Pelé. Der Gipfel des Pelé vor dem Ausbruch im Mai 1902. Die Wasserläufe (Rivières) des Pelé. Die Stadt St. Pierre. Das Wiedererwachen des Vulkans. Ouvertüre des Dramas. Zerstörung der Usine Guérin. Die letzten Stunden von St. Pierre und die Katastrophe. Augenzeugen des Ereignisses: Kapitän Freemann vom „Roddam", Roger Arnoux und andere. Wie die Stadt am 10. Mai 1902 ausgesehen hat. Der Überlebende der Katastrophe. Was in Fort de France vorging. Weitere Eruptionen des Mont Pelé. Die Glutwolke und ihre Natur. Wieviel Wasserdampf und Asche der Pelé täglich von sich gegeben hat. Elektrische Entladungen und andere Eruptionsphänomene bei den Pelé-Ausbrüchen. Die Katastrophe vom 8. Mai 1902 verglichen mit anderen großartigen vulkanischen Ereignissen. Die Soufrière von St. Vincent und ihr Ausbruch am 7. Mai 1902. Die Beziehungen zwischen der Tätigkeit der Vulkane Pelé und Soufrière. Schluß.

Eine Belehrung und eine Darstellung über das Wesen der Feuerberge, die in den Tagen der Gegenwart geschrieben wird, könnten auf eine gewisse Vollständigkeit nicht wohl Anspruch machen, wenn sie nicht auch eine Schilderung der Schreckenstage bringen

würden, die im verflossenen Jahre die Inseln Martinique und St. Vincent in den Kleinen Antillen heimgesucht haben. Und einer solchen sollen die letzten Seiten dieses Buches gewidmet sein.

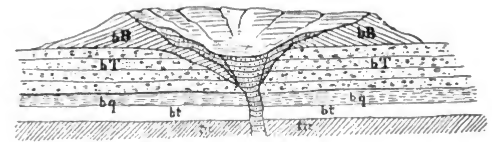
Im Osten der Großen Antillen zieht sich der Kranz von Eilanden im Ozean dahin, dem man die Bezeichnung der Kleinen Antillen gegeben hat. Sie bilden einen etwa von Norden nach Süden sich erstreckenden und nach Westen geöffneten Bogen, in dessen Mitte die drei größten Eilande der Gruppe, Guadeloupe, Dominica und Martinique gelegen sind. Dieser Bogen begrenzt das östliche und südöstliche Ende des Caraibischen Meeres, das im Norden von der Halbinsel Yucatan, dann von den Großen Antillen, Cuba, Jamaica, Haiti, Portorico und verschiedenen kleinen Eilanden, dann von den Kleinen Antillen, Venezuela, Columbien und der Ostküste Zentralamerikas umschlossen wird. Man unterscheidet in dem Inselbogen der Kleinen Antillen die Inseln über dem Winde, die den östlichen Bogenteil ausmachen, und die Inseln unter dem Winde, den südlichen und südöstlichen, der mit der venezuelanischen Küste parallel verläuft.

Nun ist die östliche Umrandung des Caraibischen Meeres längst bekannt als eine Stätte junger vulkanischer Tätigkeit, wenn diese auch bisher, um mit Deckert zu reden, ganz im allgemeinen den Eindruck

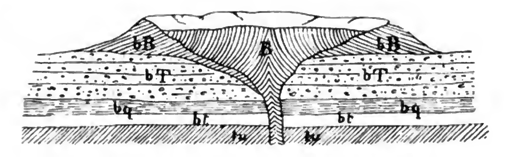
einer gewissen Schwächlichkeit und Schlaffheit gemacht hat. Einzig und allein einer derjenigen Feuerberge, der auch in den Maitagen 1902 wieder zu neuem Leben erwacht ist, die Soufrière von St. Vincent, hatte sich in der großen Aschen- und Lavaeruption vom 27. April 1812 nach beinahe hundertjähriger Ruhe noch einmal einer bedeutenden Kraftäußerung fähig gezeigt. Nur schwach dagegen waren die Aufwallungen der unterirdischen Mächte bei der Soufrière von Dominica 1870, und beim Mont Pelé auf Martinique im Jahre 1851. Dann haben im Jahre 1867 in der St. George-Bucht von Grenada, der südlichsten der Inseln über dem Winde, eine submarine Eruption stattgefunden, und im 18. Jahrhundert solche des Vulkans von Guadeloupe (1797) und desjenigen von St. Lucia (1766), die beide denselben Namen Soufrière führen, wie der Feuerberg von St. Vincent.

Aber auch diese beiden letzgenannten Ausbrüche scheinen nichts Besonderes an sich gehabt zu haben, und diejenigen, die sich im Jahre 1792 auf der Martinique zugetragen haben sollen, sind bezüglich ihrer Existenz nicht ganz über alle Zweifel erhaben. Die Lebensbetätigung dieser Feuerberge hat sich seither lediglich nur durch einen solfataraähnlichen Zustand oder durch Fumarolenexhalationen geäußert, und von den übrigen Vulkanen der Kleinen Antillen

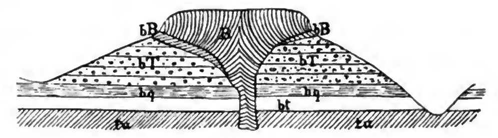

Figur 1.



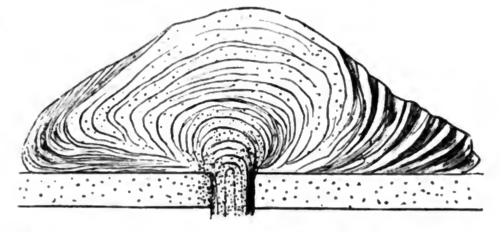
Figur 2.



Figur 3.



Figur 4.



Figur 1—3. Entstehung der Lavakuppen des Siebengebirges am Rhein. Nach Laspeyres.
Figur 1. Querschnitt eines Kraters. Figur 2. Querschnitt eines mit Lava erfüllten Kraters.
Figur 3. Querschnitt durch eine Basaltkuppe.

B Basalt. bB Basalttuff (resp. Basaltgrenztuff bei Figur 3). bT Trachyttuff. bq quarzige Schichten. bt tonige Schichten. tu Devon.

Figur 4. Durchschnitt durch eine Quellkuppe. (Nach Reyer.)

kennt man größere, Aschen und Laven fördernde Paroxysmen in historischen Tagen nicht.

Guadeloupe besitzt einen Flächenraum von 1515 qkm und 155000 Einwohner, Dominica 754 qkm und 30000 Seelen, Martinique 987 qkm und (vor der Katastrophe des verflossenen Jahres) 187000 Bewohner. Die übrigen Eilande, St. Cristopher, Antigua, St. Lucia, Barbados und St. Vincent sind von bedeutend geringerem Umfang.

Wenn nun die eigentliche vulkanische Tätigkeit hier, wie gesagt, eine recht schlaffe gewesen ist, so war dem nicht so in seismischer Hinsicht, in Beziehung auf Erderschütterungen, die im östlichen Randteil des Caribischen Meeres ungleich lebhafter aufgetreten sind. „Auf der Strecke von Ost-Cuba und Jamaica über San Domingo und St. Thomas nach Guadeloupe, ebenso wie in der Küstengegend von Venezuela sind sogar Katastrophenbeben nicht selten gewesen" (Deckert).

Nördlich von Guadeloupe liegt die kleine Insel Montserrat, die mit dem Jahre 1896 in eine unerhörte Erdbeben-Periode getreten war, derart, daß fast kein Tag verging, an dem nicht größere und kleinere Erschütterungen des Bodens vorgekommen wären, an vielen Tagen über hundert, und in manchem Monat über tausend. Im April 1897 kam es zu einer förm-

lichen Katastrophe, die auch Guadeloupe in Mitleidenschaft zog und eine ganze Anzahl Menschenleben forderte. „Sicherlich," sagt Deckert, „ist diese langjährige Schütterperiode von Montserrat nicht ohne Beziehungen zu den furchtbaren Vulkanausbrüchen von Martinique und St. Vincent, und man hat schwerlich unrecht, wenn man sie als hauptsächlichstes Vorspiel derselben bezeichnet. Der durch die Beben angedeutete geotektonische Prozeß, der bei Montserrat vorging, konnte ja nicht verfehlen, die Spannungsverhältnisse an anderen Stellen des Inselbogens, der dem Caribischen Meereseinbruch zur Zeit noch widersteht, stärker und stärker zu steigern, und mehr und mehr forderten diese Spannungsverhältnisse zwingend eine Auslösung."

Gleiches ist im Jahre 1812 der Fall gewesen, aber die Auslösung der Spannungen erfolgte sehr viel rascher, und darum waren die vulkanischen Erscheinungen, die sie zur Folge hatte, weniger intensive. Dem Erdbeben vom 26. März dieses ebengenannten Jahres, das Caracas in Schutt legte und auch den südöstlichen Teil der Caribischen See erbeben ließ, folgte am 30. April der schon erwähnte Ausbruch der Soufrière von St. Vincent. Und dem Ausbruche auf Martinique und St. Vincent im Jahre 1902 ging das Erdbeben vom 30. Oktober 1901 in Venezuela

voraus, das bei Caracas seinen Schütterherd hatte und die Stadt Guaronas zerstörte. „Wenn die Soufrière von St. Vincent wieder allein spielte, so würde man dieses Beben in erster Linie für die neue Eruption verantwortlich machen können. Das grausige Zusammenspiel des Mont Pelé und der St. Vincent-Soufrière, das nahezu gleichzeitig begann (7. und 8. Mai), deutet auf ein größeres System, das bei dem Prozeß beteiligt ist, und bei diesem System kommt der tektonische Vorgang bei Montserrat zu allererst in Frage. In einem etwas ferneren, nichtsdestoweniger aber ebenfalls bemerkenswerten Zusammenhang mit der großen Vulkankatastrophe hat aber füglich auch das große Guatemala-Erdbeben vom 18. April 1902 gestanden, das den ersten Regungen im Mont Pelé nur um fünf Tage vorausging.

Ein großer, langer und breiter unterseeischer Damm trennt die Caribische See vom Atlantik, und auf diesem erhebt sich die Inselwelt der Kleinen Antillen, die nur die über das Meer emporragenden Gipfel dieses submarinen Gebirges bilden. Die zwei tiefsten Quereinschnitte in diesem, die schwächsten Stellen des Dammes, aber zugleich auch die tiefsten Wasserstraßen zwischen beiden Meeresteilen, befinden sich zwischen Dominica und Martinique und zwischen St. Lucia und St. Vincent. Gerade an den Stellen,

wo diese Paroxysmen des Jahres 1902 sich vollzogen haben!

Beginnen wir mit den Vorgängen auf Martinique!

Diese Insel zerfällt in drei deutlich geschiedene Teile, in einen nördlichen, den der 1577 m hohe Mont Pelé bildet, in einen mittleren mit den Pitons de Carbet (1207 m), und in einen südlichen, dessen Haupterhebung Mont du Vauclin heißt und 505 m Höhe zeigt. Der tiefe Einschnitt der Bucht von Fort de France trennt den mittleren vom südlichen Teil, eine flache Bucht, die Rhede von St. Pierre, den mittleren vom nördlichen. Jedoch ist hier die Scheidelinie durch eine tiefe Einsenkung des Geländes ausgesprochen, auf deren höchster Stelle, in etwa 450 m Meereshöhe das Dorf Morne Rouge erbaut ist. „Da die Ostküste trotz ihrer reichen Gliederung, trotz zahlreicher Halbinseln, Vorsprünge und vorgelagerter Inseln wegen der starken Brandung und der Kette von Korallenriffen sich für die Schiffahrt wenig eignet, so haben sich naturgemäß die wichtigsten und größten Siedelungen an der Westseite, und zwar an der Einschnürung zwischen den Hauptttälern der Insel entwickelt: Fort de France und St. Pierre. Letztere Stadt hatte die größere kommerzielle Bedeutung erlangt, da der jungvulkanische nördliche Teil der Insel

eine größere natürliche Fruchtbarkeit besaß, als die beiden anderen Teile derselben; er hatte außerdem den Vorzug leichterer Bodenbearbeitung geboten und hatte vermöge seiner geringeren Neigungen vor dem mittleren Inselteil, vermöge des größeren Regenfalls vor dem südlichen Inselteil einen wesentlichen Vorsprung voraus gehabt" (Sapper).

Wir sehen von den übrigen hier nicht in Betracht kommenden Vulkanen der Insel ab (Pitons de Carbet, Pointe de Bourgos, u. s. f.), die in den neueren Zeiten nicht mehr in Tätigkeit getreten sind, und wenden uns zunächst zum Mont Pelé, dessen Berggipfel in der Luftlinie kaum 8 km von St. Pierre entfernt ist, und von dessen Höhe man eine herrliche Aussicht genießt. Der Berg ist ein flach ansteigender, 1577 m hoher Kegel, und hatte auf seinem Scheitel einen kleinen See, den Lac des Palmistes, der im Westen und Norden von hügeligen Erhebungen umrandet war, deren höchste ein Kreuz trug und den Namen „Morne de la Croix" führte. Der See hatte nach den Messungen von Leprieur, Rufz und Peyrand, die ihm kurz nach dem Ausbruch von 1855 einen Besuch abstatteten, etwa 300 Schritte Umfang, und sein Wasser ruhte in einem von Schlamm und Bimssteinbrocken ausgepolsterten Becken. Herrliche Palmbäume, Farne und Lobelia-Gebüsche sollen den Lac des Palmistes um-

standen und zu einem kleinen Paradies gestaltet haben. Zu seinem Spiegel stiegen die Einwohner von St. Pierre sehr gerne empor. Er war vielfach das beliebte Ziel ihrer Ausflüge. Emil Deckert, der den Mont Pelé im Jahre 1898 in der Regenzeit begangen hat, gibt uns folgendes anschauliches Bild von der damaligen Beschaffenheit seines Gipfels. „Hinter Morne Rouge beginnt dann bald ein steiler Aufstieg auf überaus schlüpfrigem Pfad, den die chasseurs de choux (Palmkohljäger) mit der Machete durch die Tropenvegetation hindurch gebahnt haben —, zuerst durch schönen Hochwald (grand bois), von über 900 m ab aber durch mannshohes, dichtes Gestrüpp von Zwergpalmen, Farrenbäumchen, Ried und dergl. mit zahllosen schön blühenden Blumen, vor allem Begonien und Orchideen dazwischen.

In 1100 m Höhe wird der Berg auf seiner Ostseite plateauartig, und hier stoßen wir zugleich auf besonders deutliche Spuren seiner vulkanischen Natur — auf tiefe Spalten, die das Gestein (meist in der Richtung von SW. nach NO.) durchsetzen, die beiden ersten nicht ganz 1 m, die letztere aber 2,5 m breit, so daß wir auf einem querüber gelegten Palmstamme hinüberklettern müssen. Aus der Tiefe steigt stechender, schwefeliger Dunst empor, als ein Zeichen, daß da unten noch eine lebhafte Solfatarentätigkeit

vor sich gehen muß. An einigen Stellen findet in der Nähe dieser Spalten auch ein beschränkter Schwefelabbau für den örtlichen Bedarf statt.

Auf dem letzten Kilometer der Bergwanderung ist von einem Steigen keine Rede mehr, sondern nur noch von einem Waten in knietiefem Morast. Es ist ein mit vegetabilischen Verwesungsstoffen und Wurzeln reich durchsetzter und mit Feuchtigkeit auf das vollständigste durchtränkter Bimssteinboden, der auf dichter Andesitlava auflagert. Inmitten dieses Morastes liegt ebenfalls auf Andesitlava der Lac des Palmistes, der eigenartige kleine Kratersee des Mont Pelé, und an seinem Ufer schlagen wir unsere Zelte auf. — Ein Kraterwall umgibt den nur bis 2 m tiefen See nur im Süden und Westen, und wir können daher geneigt sein, den Mont Pelé als einen echten Passatvulkan zu bezeichnen, von der Art, wie sie Professor Sapper beschrieben hat. —

Merkwürdig gespensterhaft wirken die stehenden Baumleichen auf dem Mont Pelé — gri-gri genannt —, von denen man glauben könnte, irgend ein Vulkanausbruch habe sie verbrannt; sie sollen aber tatsächlich durch die starken elektrischen Entladungen bei dem Orkan von 1891 verursacht worden sein, durch welche der Berggipfel zeitweise in eine förmliche Feuerwolke eingehüllt gewesen sein soll. Der vorhandene

Kraterwall besteht aus Bimsstein und ist nur von spärlicher Vegetation bekleidet.

Nur etwa 2 km abwärts am Westhang gibt uns der Berg eine weitere deutliche Kunde von seinem eigentlichen Wesen. Da entfließen einer Spalte Schwefelquellen von annähernder Siedehitze — die sogenannten Sources de la Soufrière. Und dicht daneben finden sich hier zwei deutliche kleine Krater, aus denen im August 1851 die sicher verbürgte Aschen-Eruption stattfand. Unmittelbar darunter aber befindet sich eine ganze Reihe von ähnlichen Kratern, die weniger gut erhalten sind, die vielleicht teilweise von 1792 herrühren, jedenfalls aber nur wenige Jahrhunderte alt sind. Die Atmosphärilien und der tropische Pflanzenwuchs maskieren und zerstören ja solche Spuren der vulkanischen Tätigkeit sehr rasch. Sie schaffen auch, das läßt sich vor allem in der Regenzeit beobachten, sehr rasch breite und tiefe Erosionsschluchten an den Flanken eines Vulkans."

Nicht weniger denn fünfundzwanzig Wasserläufe, von denen etwa die Hälfte den stolzen Namen „Rivière" bekommen hat, ziehen vom Pelé herab, und die meisten derselben verlaufen in derartigen Erosionsschluchten. Im Norden gehören zu den bedeutendsten die „Grande Rivière", die „Rivière Macouba" und die „Falaise". Am „Prêcheur" lag das gleichnamige Dorf, dessen Zer-

störung am 6. und 7. Mai die große Katastrophe einleitete, im Süden folgen dann die „Rivière Blanche“, die „Sèche“ und die „Rivière des Pères“; die letztere trennte St. Pierre von seinem Vororte Fonds-Coré. Die „Roxelane“ aber durchfloß St. Pierre selbst, zum Teil zwischen steinernen Ufermauern, über denen schöne Villen und prangende Gärten sich erhoben und diesen Teil der unglücklichen Stadt äußerst anziehend gestalteten.

Die Gründung der Stadt datiert aus dem Jahre 1635. In sehr malerischer Lage breitete sie sich längs der Bucht an der Westküste der Insel aus und war der Handelsvorort von Martinique. Schon von ferne erblickte man vom Schiffe aus ihr Weichbild; Häuser an Häuser, überragt von schlanken Palmenhainen, zog es sich an den Berghalden hinauf. St. Pierre besaß eine Handelskammer, eine Bank, ein Seminar und war Bischofssitz, hatte auch ein schönes Theater, eine reich geschmückte Kathedrale, einen berühmten botanischen Garten, ein Gymnasium, eine Kolonialschule, gute Hospitäler und eine Irrenanstalt. Seine Industrie bestand wesentlich in der Fabrikation von Rum und Orangenlikör. Nach dem Zensus vom Jahre 1894 betrug seine Einwohnerzahl 19722, darunter etwa 5—6000 Weiße. Es war eine Stadt der heiteren Lebenslust, deren sittliche Zustände auf einem sehr viel

tieferen Niveau gestanden haben sollen, als diejenigen anderer tropischer Orte; es war zugleich der Anziehungspunkt für die ganze Insel. Auch wurde St. Pierre als die schönste der Städte Westindiens gepriesen, ein Ruhm, den es aber nach Heilprin und Anderen eigentlich nicht verdient haben soll.

Im Jahre 1851 hatte der Mont Pelé, wie wir schon weiter oben gesehen haben, einen Ausbruch. Er warf aus zwei kleinen Kratern in der Nähe des Gipfels Aschen aus. Der ganze Vorgang jedoch war höchst unbedeutender Natur und richtete keinen Schaden an. Die Bewohner von St. Pierre betrachteten den Vulkan als einen im Todesschlaf liegenden Berg und dachten an nichts weniger, als an die Möglichkeit einer Katastrophe, wie diejenige, die sie im Mai 1902 erleben sollten.

Schon etwa zwei Wochen vor dem gewaltigen Paroxysmus im ebenbesagten Monat war der Pelé in lebhafter und zunehmender Aufregung begriffen, warf Aschenregen aus, ließ schwefelige Gase ausströmen, und zugleich bildete sich auf der Südwestflanke seines Berges eine Kraterspalte. Letzteres geschah etwa an der Stelle eines ehemaligen Feuerschlundes, des „Etang Sec“, der von dem Westabhang des Morne de la Croix überragt wird. Das war am 25. April. Damals bereits waren die schwefligen



Die Felsnadel (Cône) im Krater des Mont Pelé auf Martinique, am 8. November 1902. (Nach Lacroix.)



Dämpfe in St. Pierre so lästig geworden und hatten sich in solcher Menge angesammelt und verdichtet, daß man nur mit Mühe atmen konnte, und daß Tiere in den Straßen der Stadt tot umgefallen waren. Am 2. Mai fiel ein sehr mächtiger Aschenregen auf St. Pierre hernieder; der Verkehr stockte gänzlich und größere Beängstigung der Gemüter machte sich geltend. Und am 5. Mai ereignete sich die erste bedeutendere Katastrophe in dem Pelé-Ausbruch von 1902, die Zerstörung der Guérinschen Zuckerfabrik. Die Wolken auf dem Gipfel des Vulkans hatten im Laufe der vorhergegangenen Tage mehr und mehr zugenommen und erschienen in der Nacht vom 3. zum 4. Mai auf der Unterseite glühend rot, ein Beweis dafür, daß ganz außerordentliche Vorgänge im Krater erfolgen mußten. Für den 4. Mai hatte eine größere Gesellschaft aus St. Pierre schon längere Zeit vorher eine Besteigung des Pelé in Aussicht genommen. Inzwischen war der Vulkan aber wieder tätig geworden. Wie gering jedoch die Bedeutung gewesen ist, die man diesen Erscheinungen beimaß, das mag der Umstand bezeugen, daß noch am 3. Mai in dem publizistischen Organ der Stadt, der Zeitung „Les Colonies", eine Mitteilung erschien, dahingehend, die für den nächsten Tag geplante Exkursion auf den Feuerberg könne nicht stattfinden und müsse bis auf weiteres verschoben

werden, zumal der Kratersee gänzlich unzugänglich geworden sei.

Kehren wir zu der Zerstörung der Guérinschen Zuckerfabrik zurück! Nahe der Einmündungsstelle der Rivière Blanche erstreckt sich eine flache Landzunge, die das Bett dieses Wasserlaufes mit demjenigen der Rivière Sèche verbindet. Hier erhob sich eine der größten und rentabelsten industriellen Unternehmungen der ganzen Insel, die erwähnte Fabrik. Einige Minuten nach der Mittagsstunde stürzte am 5. Mai urplötzlich ein siedend heißer Schlammstrom unter Zischen und Brausen die Flanken des Berges herab, der aus dem Etang Sec herausgekommen war. Binnen nur drei Minuten hatte diese dampfende Masse die drei Meilen große Entfernung zwischen ihrem Ursprungsorte und dem Meere durchsaust, alles, was ihr in den Weg kam, unbarmherzig in Trümmer legend und mit sich fortfegend, so auch die Zuckerfabrik, von der sie nur den hohen Schornstein unberührt ließ. Alle Menschen, die zur Zeit in der Fabrik geblieben waren, 23 an der Zahl, fanden dabei den Tod.

Die Rivière Blanche war förmlich toll geworden; sie fuhr fort, gewaltige Massen heißen Wassers und Dampfes mit unendlichem Getöse vom Berge herabzuführen und soll sogar Blöcke von 50 Tons Gewicht mit sich fortgewälzt haben. Darüber, daß der Schlamm-



Die Felsnadel (Cône) im Krater des Mont Pelé auf Martinique, am 25. März 1903. (Nach G. Wegener.)

ausbruch auf den Etang Sec zurückzuführen ist, dürften kaum Zweifel obwalten. Dieser mußte die aus dem neugebildeten Krater herauskommenden Materialien zunächst in sich aufnehmen, bis seine Umrandung dem stetig anwachsenden Druck dieser Massen, als Schlacken, Aschen, Sande, siedendes Wasser und dergleichen mehr nicht länger stand halten konnte, durchbrach, und so dem Schlammstrom einen Ausweg schaffte. Diese Verhältnisse erklären denn auch die ungeheuren Mengen der ausgebrochenen siedend heißen und schlammigen Materie, die an etlichen Stellen 100 bis 150 Fuß Dicke erreicht haben dürfte.

Die Schreckenskunde von der Zerstörung der „Usine Guérin" stach den Einwohnern von St. Pierre doch allmählich den Star. Sie fingen an zu begreifen, daß die Dinge, die sich am Pelé abspielten, doch nicht so ganz harmlos seien, trotz der Beruhigungsversuche von seiten der Regierung und trotz der Versicherung, die Sache würde dieses Mal auch nicht schlimmer verlaufen, als wie im Jahre 1851. Die gewaltige Schlammflut, die sich aus der Rivière Blanche in die See ergoß, hatte ein Zurückweichen und Wiedervordringen des Meerwassers zur Folge und erzeugte eine Art Sturzwelle, die sich über die niedrig gelegenen Stadtteile ergoß, glücklicherweise, ohne großen Schaden anzurichten. Aber das unheim-

liche Grollen und Donnern im Herzen des Berges dauerte fort und wurde immer stärker, Aschenregen fielen nieder und hüllten St. Pierre und seine Umgegend in tiefe Finsternis, neue Ausbrüche heißen Wassers zerstörten die Dörfer Prêcheur, Basse Pointe und andere Ansiedelungen — und die Panik wuchs und wuchs. Viele dachten an Flucht; manche führten diesen Vorsatz auch aus und brachten sich auf den entfernteren Höhen und in Port de France in Sicherheit, manche aber, durch die Versicherung des Gouverneurs, St. Pierre sei durch den Pelé nicht mehr gefährdet als etwa Neapel durch den Vesuv, vertrauensselig gemacht, blieben zurück, trotzdem von Stunde zu Stunde die Lage eine bedrohlichere wurde. Inzwischen aber rüstete sich der Mont Pelé zu seinem Hauptschlage gegen die unglückliche Stadt, deren Zeitung in der letzten Nummer, die sie zu verzeichnen gehabt hat und die das Datum des Mittwoch, 7. Mai 1902 trägt, einen Leitartikel über die Vulkane brachte, der das seinige zur Beruhigung der sehr aufgeregten Bevölkerung tun sollte. Auch eine Notiz finden wir in dem besagten Blatte, daß wegen des bevorstehenden Himmelfahrtsfestes die Bureaus der Zeitung am Donnerstag geschlossen seien, und die nächste Nummer daher erst am kommenden Freitag erscheinen würde.

Dieser Freitag ist aber für die Bewohner von St. Pierre nicht mehr heraufgedämmert.

Schon während des 7. Mai hatte der Vulkan immer bösartiger getobt und gebrüllt, während feuriger Widerschein die seinen Scheitel umhüllenden Dampfwolken rötete und Blitze dieselben durchzuckten. Das Zwielicht, das den ganzen Tag über herrschte, ließ erkennen, wie weit und breit schon Elend und Zerstörung Platz gegriffen hatten, die Folge der Ereignisse der verflossenen Stunden. Die See war bedeckt von allerhand Dingen, welche ihr die reißend gewordenen Flüsse von den Gehängen des Berges und den davor gelegenen Niederungen zugetragen hatten. Ganze Inseln von Bimssteinen, Baumstämmen, Balken und Brettern, kurz, von den verschiedensten Gegenständen schwammen darauf umher. Aber immer hegten St. Pierres Bewohner noch die stille Hoffnung, es möchte doch alles noch ein gutes Ende nehmen. Die Leute, die das wissen mußten, sagten ja so, und darum würde es doch wohl auch so sein. Und in dieser Zuversicht legten sie sich am Vorabend des Himmelfahrtstages zur Ruhe, unter dem Donnern und Brüllen des Vulkans, ohne die geringste Ahnung dessen, daß bevor die Sonne nochmals untergehen sollte, sie nicht mehr vorhanden und ihre Stadt weggeblasen sein würden.

Der französische Kabeldampfer Pouyer-Quertier, der nach einem der infolge der jüngsten Vorgänge gerissenen unterseeischen Telegraphendrahte fischte und etwa 8 Seemeilen von St. Pierre entfernt auf der See lag, sandte am Morgen des 8. Mai eine Anfrage vermittelst des Drahtes nach dieser Stadt, erhielt aber keine Antwort mehr darauf. Denn fast zur gleichen Zeit brach eine glühende Wolke aus dem Vulkan hervor und strich mit rasender Geschwindigkeit in der Richtung von Nordosten nach Südwesten über den Erdboden dahin, allem Lebendigen, das sie berührte, den Tod bringend. Mit nicht zu schildernder Vehemenz stürzte sich das Ungetüm auf die Stadt; eine schreckliche Detonation, überall aufzuckende Flammen, das alles das Werk einiger Minuten — und St. Pierre war einmal gewesen!

Ein englischer Handelsdampfer, „Roddam", Kapitän Freemann, war am 6. Mai auf der Rhede von St. Pierre angelangt. Dieses Schiff ist das einzige, das, dank dem über alles Lob erhabenen Verhalten seines tapferen Kapitäns, dem Verderben entrinnen konnte. Was dieser brave Mann gesehen hat, und wie er das Gesehene schildert, das mag hier zunächst folgen.

Gegen 8.15 frühmorgens am Himmelfahrtstage befand sich Kapitän Freemann im Kartenhaus. Der

größere Teil seiner Besatzung war an Deck und betrachtete den entfernten Vulkan, aus dem dichte Dampfwolken und zeitweilig auch Feuerschein herauskamen. Ganz plötzlich hörte er ein schreckenerregendes Getöse, als ob das ganze Land vor ihm von Lärm erfüllt wäre, und zugleich kam ein gewaltiger Windstoß daher, der die See in große Bewegung brachte und die Schiffe im Hafen hin und her schaukelte. Freemann eilte aus dem Kartenhaus, schaute bestürzt auf die Stadt und die Höhenzüge und erblickte Dinge, die jeder Beschreibung spotten. Er rief einen seiner Offiziere mit den Worten an: Sehen Sie einmal dorthin! Aber kaum waren diese seinem Munde entflohen, als auch schon eine dichte Wolke heißer Massen auf das Schiff niederfiel. Alles was sie in ihrem Zuge berührte, geriet sofort in Brand, auch die Fahrzeuge auf der Rhede. Freemann hatte das Gefühl, als ob ein gewaltiger Hammer auf sein Schiff niedersause, während die glühenden Lavastückchen nur so auf das Deck des „Roddam“ herabhagelten. Jedermann suchte sich irgendwohin zu verkriechen, um diesem Feuerregen zu entgehen, die Hitze jedoch war so ungeheuerlich und die Luft so entsetzlich erstickend, daß eine Anzahl der Leute von der Bemannung, darunter der Obermatrose, in voller Verzweiflung über Bord sprangen. Andere kamen aus ihrem Versteck hervor, weil ihnen der Atem

dort ausging, und eilten wieder auf Deck, wurden aber hier von den glühenden Aschenmassen förmlich geröstet. Freemann behielt den Kopf oben und war nur von dem einzigen Gedanken beherrscht, sein Schiff und die Überlebenden der Besatzung unter allen Umständen zu retten. Er befahl den Anker zu kappen und Volldampf zu geben, und die tüchtigen und furchtlosen Leute an der Maschine brachten das mit unsäglicher Mühe und Anstrengung auch zur Ausführung. Am ganzen Körper selbst stark verbrannt, blieb der heldenhafte Kapitän dennoch auf der Kommandobrücke; nach wenigen Stunden übermenschlicher Arbeit und bei gänzlicher Finsternis gelang es, das Schiff in die See hinaus zu bugsieren. Bei der Schwierigkeit, das Steuer richtig zu handhaben, wäre der „Roddam" beinahe mit dem lichterloh brennenden Dampfer „Roraima" zusammengestoßen, auf dessen Kommandobrücke Freemann zwei Gestalten mit verschränkten Armen stehen sah, die mutig ihr Ende erwarteten, und von denen die eine ihm noch ein „Lebewohl!" zurief. Das Deck dieses Dampfers war besetzt von sinnlos hin- und herrennenden Menschen in der gräßlichsten Todesangst. Als Freemann den Hafenausgang erreicht hatte, warf er einen letzten Blick auf die in hellen Flammen stehende Stadt. Qualm und Rauch lagen auf St. Pierre, ließen aber zeitweise die schwarz-

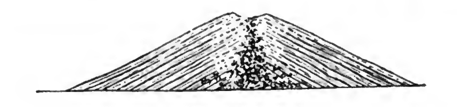
Figur 1.



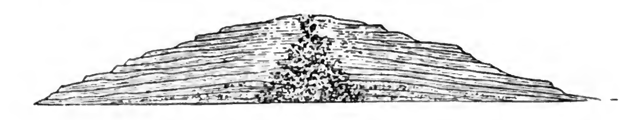
Figur 2.



Figur 3.



Figur 4.



Figur 5.



Figur 1. Monogener Vulkanberg vor der Bildung der Caldeira.
Figur 2. Monogener Vulkanberg nach der Bildung der Caldeira.
Der äußere Mantel ist erstarrt, im Innern ist das Material noch in glutzähem Zustand. (Zu Seite 245.)
Figur 3. Bau eines polygenen Stratovulkans. (Zu Seite 248.)
Figur 4. Bau eines monogenen Stratovulkans. (Zu Seite 248.)
Figur 5. Profil durch den Vesuv nach der Auffassung von Stübel.
Der eigentliche Vesuvkegel besteht aus den Auswurfsmassen der zweiten Eruptionsperiode. (Zu Seite 255.)

(Sämtliche Figuren nach Stübel.)

gebrannten Mauerreste der Häuser und die dazwischen auftauchenden schattenhaften Gestalten der wie geistesabwesend umherirrenden Männer und Frauen erkennen, und aus dem Gebrüll des Vulkans und dem Getöse der niederströmenden Aschen hörte man den Todesschrei von vielen tausend menschlichen Wesen deutlich heraus.

Wenige Tage darauf meldete eine Depesche aus St. Lucia, daß das Schiff ohne Anker und Kette und mit verbranntem Deck dort angelangt sei. Von der vierzig Mann starken Besatzung waren zwölf der Katastrophe zum Opfer gefallen. Der schwer verwundete Kapitän, der bis zu diesem Augenblick seinen Posten nicht verlassen hatte, mußte im Spital Unterkunft suchen.

Noch ein anderes Bild von dem gewaltigen Eindruck der Katastrophe auf deren Augenzeugen:

Am Himmelfahrtstage war ein Segler aus Bordeaux, die Marie-Hélène im Begriff in den Hafen von Martinique einzulaufen. Der Kapitän, ein alter Seebär, der sein ganzes Leben lang fast nur Reisen nach Martinique gemacht hatte, war auf Deck. Da erschaut er plötzlich etwas, was er nicht begreifen und fassen kann. Und allsogleich packt ihn namenlose Angst. Er ruft einen Matrosen herbei, zeigt ihm das Land und fragt: „Was siehst du dort?"

Der Mann, selbst von ungeheurem Schrecken gelähmt, kann nur die Worte hervorstammeln: „Ich sehe nichts, Kapitän!" Wie sollte der Mensch denn auch den Ausdruck für das grausige Schauspiel gefunden haben, das sich dort vor seinen Augen abspielte? Der Kapitän wiederholt seine Frage: „Aber Mann, du siehst doch etwas! Sag' mir, was geht denn da drüben vor?" „Ich weiß wirklich nicht, Kapitän!" Da nimmt der Ärmste den Kopf zwischen die Hände und bricht in den Verzweiflungsschrei aus: „Zum Donnerwetter, bin ich denn verrückt geworden?"

Ja, so war St. Pierre! Es bot ein derartig unerhörtes Schauspiel dar, einen Anblick so fern von allem dem, was das arme Menschenhirn an Gräßlichem zu ersinnen vermag, daß Leute, die dessen plötzlich gewahr wurden, ohne von den dortigen Vorgängen etwas zu wissen, glauben konnten, sie hätten den Verstand verloren!

Ein Herr Roger Arnoux, Mitglied der Französischen astronomischen Gesellschaft und Bewohner von St. Pierre, hatte sich am Abend des 7. Mai auf seinen außerhalb der Stadt belegenen Besitz „Le Parnasse" begeben und entging so dem Verderben, war aber gewissermaßen aus nächster Nähe Augenzeuge der Katastrophe. Seine Erlebnisse am Himmelfahrtstage hat er in einem Briefe an den bekannten Astro-

nomen Camille Flammarion in Paris geschildert, von dem wir einige Auszüge geben wollen. Arnoux erzählt:

„Ich hatte St. Pierre gegen fünf Uhr abends verlassen und konnte deutlich sehen, wie der Vulkan gewaltige Felsstücke in die Lüfte schleuderte, und zwar in eine beträchtliche Höhe hinauf, denn sie brauchten etwa eine Viertelminute, bis sie wieder herabgefallen waren. Die Auswürflinge flogen im Bogen über die Spitze des Kegels, den Morne de la Croix hinüber. Gegen acht Uhr abends sahen wir zum ersten Male aus dem Krater am Gipfel länger anhaltende Flammen von sehr weißer Färbung hervorzucken, dann folgten bald darauf einige Detonationen von der Art, wie man sie in St. Pierre gehört hatte — (man hatte dort erst gemeint, es sei der Widerhall von Kanonenschüssen eines in den Gewässern von Fort de France Schießübungen abhaltenden Kriegsschiffes). Diese Entladungen schienen vom Süden her zu kommen, was mich in dem Gedanken bestärkte, es müßten submarine Eruptionen stattfinden, die bei Berührung mit der Luft explodierende Gase entlüden.

Bald nach neun Uhr ging ich zu Bette, erwachte aber nur kurze Zeit später bei unerträglicher Hitze, die mich in Schweiß badete. Da ich infolge der jüngsten Ereignisse sehr angegriffen war, erklärte ich mir diesen Zustand durch ein plötzliches Unwohlsein

und legte mich wieder nieder. Nicht lange danach, um elf ein halb Uhr, erwachte ich nochmals infolge einer Erderschütterung. Da jedoch niemand sonst im Hause etwas davon gemerkt hatte, nahm ich eine Nerventäuschung an und begab mich nochmals zur Ruhe. Gegen 7.52 Uhr am nächsten Morgen erhob ich mich vom Lager.

Sobald ich zur Haustüre hinausgetreten war, galt mein erster Blick dem Vulkan, den ich ziemlich ruhig fand, zumal ein heftiger Ostwind die seinen Scheitel umlagernden Dampfwolken immer wieder rasch verscheuchte. Um acht Uhr stand ich noch immer draußen und betrachtete den Berg, als ich plötzlich etwas Wellenartiges aus dem Krater herausquellen sah, das von einer, wie flüssig erscheinenden beträchtlichen Masse gefolgt wurde, die innerhalb drei Sekunden zur Pointe du Carbet hinabsauste. (Diese ist ein Vorsprung am Meere, jenseits, also südlich von St. Pierre gelegen.) Gleichzeitig war aber die Masse auch schon über unseren Häuptern, hatte sich also nicht minder rasch in die Breite ausgedehnt, als in die Länge. Diese Erscheinung bestand aus Dämpfen, welche sich von denjenigen, die der Vulkan bislang ausgehaucht hatte, in nichts unterschieden, grauviolett in der Farbe waren und sehr dicht aussahen, denn trotzdem sie unbeschreiblich rasch zu großer Höhe auf-

stiegen, behielten sie doch bis hoch hinauf ihre den Wolkenballen ähnliche Gestalt bei. Unzählige elektrische Entladungen sprühten daraus hervor, während ein entsetzliches Getöse uns beinahe taub machte.

Sofort wurde mir klar, daß St. Pierre zu Staub zerrieben worden sein müsse, und ich war tief bewegt beim Gedanken, daß alle meine Lieben, die ich am verflossenen Abend in der Stadt gelassen hatte, ums Leben gekommen sein müßten. Nunmehr schien es, als ob das Ungetüm uns näher rücken wolle, und meine von jähem Schrecken erfaßten Leute rannten auf eine in der Nähe des Wohnhauses befindliche kleine Anhöhe, indem sie mir zuriefen, auch so zu tun. Eine aufsaugende Luftwelle kam uns entgegen, welche die Blätter von den Bäumen riß und die kleinen Zweige zerbrach, auch unserem Wettlauf einen starken Widerstand bot. Wir hatten den Hügel kaum erreicht, da verfinsterte sich die Sonne und eine undurchdringliche Dunkelheit umgab uns. Dann hagelten Schlacken, deren größte etwa 2 cm Durchmesser hatten, auf uns herab, und über St. Pierre, insbesondere über der Gegend, wo das Mouillage-Viertel liegt, stieg eine Flammensäule auf, die rasch vorwärts eilte, zugleich aber eine drehende Bewegung innezuhalten schien, ein förmlicher Feuerwirbel, der meiner Schätzung nach etwa 400 m Höhe gehabt haben dürfte. Dieser ganze

Vorgang mag etwa 2—3 Minuten gewährt haben. Nun kam sofort ein Schlammregen an die Reihe, der den Steinhagel ablöste und die Gräser und die kleineren Sträucher zu Boden streckte, und zum Schluß ein gewaltiger Wolkenbruch von einer halben Stunde Dauer. Alles in allem hat sich die ganze Katastrophe etwa während der Zeit einer Stunde abgespielt. Alsdann kam die Sonne wieder zum Vorschein."

Ein Bericht des Staatsanwalts von Fort de France, datiert vom 10. Mai, erzählt, wie die unglückliche Stadt zwei Tage nach dem grausigen Ereignis ausgesehen hat. „St. Pierre und seine Umgebung," so heißt es darin, „gleichen einem Ruinen- und Aschenhaufen. Im Hafen schwimmt Holz in ungeheurer Menge umher, und zwei eiserne Dampfer liegen darin, stark zur Seite geneigt, ohne Masten und Tauwerk, gänzlich ausgebrannt. Keine Spur von einem Segler! Kein Boot, nur einige gestrandete oder mit dem Kiel nach oben treibende Piroguen! Am Ufer keine lebendige Seele, und in der Umgebung ebenfalls nicht! Etwa ein Dutzend Menschen haben sich auf die Felshöhen zwischen St. Pierre und Le Carbet flüchten können. Der „Suchet" soll sie in Sicherheit bringen. Es sollen Leute von der Bemannung zugrunde gegangener Schiffe sein.

Ich ersuche den Kapitän (des Dampfers „Rubis",

der den Erzähler von Fort de France nach St. Pierre bringen sollte), sich der Stadt so viel als möglich zu nähern, besteige ein Boot, und lande mit dem Leutnant und Fähnrich des „Suchet“ ungefähr an der Stelle, wo die „Place du Mouillage“ lag. Todesstille! Wir dringen bis zur „Rue Bouillé“ vor. Hier treffen wir da und dort auf Leichen. Einige sind von den Gasen aufgedunsen und nicht verkohlt. Die aber, die zwischen den Häusertrümmern herumliegen, sind in diesem letzteren Zustande. Unmöglich weiter vorzudringen und in die „Rue Victor Hugo“, den Mittelpunkt der Stadt zu gelangen! Man müßte, um das zu ermöglichen, fähig sein, auf glühenden Kohlen zu gehen.

Wir besteigen unser Boot und fahren zur „Place Bertin“. Auch hier aufgedunsene und unverbrannte Menschenleiber. Ihre Hände sind nicht krampfhaft zusammengezogen; der Tod muß rasch und schmerzlos erfolgt sein.

Die Quais sind nicht mehr vorhanden, auch kein Baumstamm steht mehr. Der Leuchtturm, der 30 m hoch war, ist bis auf einen Rest von 3 m verschwunden, die zum Aufstieg dienende Eisentreppe ist zertrümmert, doch zeigen weder die Eisenteile noch die übriggebliebenen Steine Brandspuren. Das Gitter um den Brunnen des Platzes ist gewaltsam verdreht.

In die „Rue Lucy“ können wir nicht gelangen; die Hitze ist zu groß und zu erstickend. Wir fahren wieder an Bord, um die Flüchtlinge in Le Carbet zu holen.“

Andere Augenzeugen, die von der See aus das Gelände von St. Pierre am Unglückstage gegen zehn Uhr gesehen haben, schreiben, daß das ganze Ufer in Brand geraten war, mindestens auf eine 5 km lange Strecke hin. Die Bäume, die vereinzelt auf den Pflanzungen stehenden Häuser, kurz, alles was brennbar war, stand in Flammen.

Grauenhaft sah es in St. Pierre aus, als die Hitze soweit nachgelassen hatte, um in die Stadt eindringen zu können. Der Bericht des Staatsanwalts von Fort de France läßt uns ja schon ahnen, wie das gewesen sein muß. Und dennoch, so wird glaubhaft versichert, genügt auch die stärkste Phantasie nicht, um sich ein richtiges Bild von der Verwüstung zu machen, die in der Zeit weniger Atemzüge über die so blühende Stadt hereingebrochen war. Die Kathedrale lag in Schutt, die aus Eisen erbaute Markthalle von 2000 qm Flächenraum und mit Säulen von 30 cm Dicke war nicht mehr zu sehen, das Zollhaus, das Spital, öffentliche und Privatgebäude waren nur noch Trümmerhaufen. Die Bäume waren geknickt oder entwurzelt; eine große und schwere Statue der Jung-

frau Maria hatte der glühende Wirbelsturm 15 m weit fortgetragen. „Schwere Kanonen einer Batterie, die auf einem Hügel nördlich von der Stadt stand, wurden umgeworfen und von ihrem Platze weggeschoben. An der eisernen Brücke, welche über die an St. Pierre vorbeifließende Rivière Roxelane führt, fand man die Eisenplatten umgebogen, und zwar so, daß die Biegung vom Berge weg gegen die See hin erfolgt war. Dieser Umstand, sowie andere Beobachtungen ließen erkennen, daß die Richtung des Luftdruckes mit derjenigen der Aschenwolke übereinstimmte.“ (Dressel.)

Die ganze Stadt war erfüllt von zahllosen Leichen, meist völlig nackt, das Gesicht der Erde zugekehrt, die Hand vor dem Munde. Die Kleider waren ihnen wie Zunder vom Leibe gefallen. Und dann die Aschenmassen, die St. Pierre bedeckten!

Bald verbreitete sich ein unerträglicher Gestank über dem ganzen Gelände. Die Leichen von Menschen und Tieren gingen in Verwesung über. War doch nur ein einziger Mensch dem Unheil entronnen, ein im Gefängnis sitzender Verbrecher, dessen unterirdische Zelle ihn vor dem Tode schützte. „Er hörte das Donnern und Dröhnen des Pelé; die dicken Mauern seiner Zelle erzitterten heftig; er fühlte den heißen Hauch des Vulkans sogar dort unten in der Tiefe. Die entsetzliche Stille, die dann folgte, sagte ihm, daß

die Bevölkerung der Stadt eine Beute des Todes geworden sei, und gleich einem, den man vergessen hat, riß und rüttelte er an dem Türgitter seines Gefängnisses. Es gab nach. Er taumelte in einen anderen Raum, in welchen heiße Asche von der Straße herein trieb. Die Hitze war so groß, daß er schnell wieder seine eigene Zelle aufsuchte, wo er sich in der entferntesten Ecke verkroch, in Todesangst der weiteren Schrecknisse harrend. Nach vier Tagen wurde das Geschrei des halb irrsinnigen Schwarzen von einer Rettungsmannschaft gehört; er wurde, fast tot vor Hitze, Hunger, Durst, ans Tageslicht gebracht und so dem Leben erhalten." (Kewitsch.)

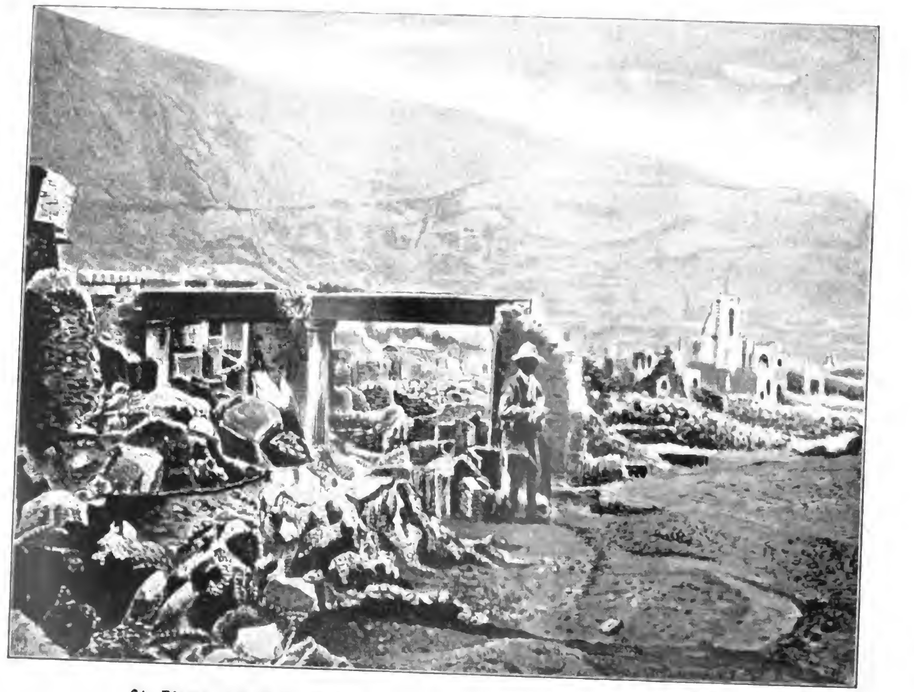
In Fort de France schien der heitere Himmel am frühen Morgen einen schönen Tag vorauszusagen. Die Bevölkerung war mit Vorbereitungen für das Himmelfahrtsfest vollauf beschäftigt, als sich plötzlich rabenschwarze Nacht in der Stadt verbreitete und ein Hagel von kleinen Schlacken und Aschen niederging. Gleichzeitig fiel ein feiner und durchdringender Regen, der die eben genannten Massen zu Schlamm umwandelte, der auf die Häuser und Dächer klatschte. Dabei ertönte das donnerartige Gebrüll und Getöse des Vulkans. Große Panik ergriff die Bewohner der Stadt. Alles lief aus den Häusern und rannte davon, hinaus ins freie Feld, ein jeder mit den Dingen beladen,

deren Rettung ihm zuerst am Herzen lag. Frauen trugen ihre Kinder, Männer unterstützten ihre vom Schreck halb gelähmten Weiber. Alle trieben vorwärts. Nur hinaus aus der Stadt, um nicht von den heranstürzenden Wogen erfaßt oder von den zusammenkrachenden Häusern erschlagen zu werden! Denn daß solche Erscheinungen bevorstünden, das galt bei den meisten als ausgemacht. Den ganzen Vormittag über hielt dieser phantastische Auszug aus Fort de France an, während der schlammige und alles durch und durch beschmutzende Regen die Flüchtlinge durchnäßte. Es glich der Vorgang einer vom Gewittersturm überholten und in einem engen Tale zusammengepferchten Hammelherde.

Noch lag der Schrecken des Himmelfahrtstages auf Martinique, noch zitterten und bebten die so schwer heimgesuchten Bewohner der Insel, als der Berg am 20. Mai sein verhängnisvolles Spiel aufs neue begann. „Früh am Morgen schon ertönte sein Brüllen und Lärmen, betäubender sogar, als am 8. Mai. Dunkle, von Blitzen nach allen Richtungen durchzuckte Rauchwolken wirbelten auf und ließen, während sie seitlich abflossen, Asche fallen. Auf der Ostseite des Berges, oberhalb Ajoupa-Bouillon, entstand eine neue Öffnung; ihr entströmten heiße Schlammmassen, die sich durch das nördliche Küsten-

land bis an das Meer hinabwälzten und dieses stellenweise ins Kochen brachten. An dem gleichen Tage wurde auch das Wasser des Flüßchens „Capot“, das mehrere vom Gipfel des Pelé kommende Bäche aufnimmt, plötzlich heiß. Außerdem stürzte wieder eine Hochflut an der Westküste landeinwärts und richtete in Carbet erheblichen Schaden an.“ (Dressel.)

Das, was von der Katastrophe am 8. Mai in St. Pierre noch übrig gelassen worden war, ging am 20. Mai vollends zugrunde. Ein Hagel von großen und glühenden Steinmassen wurde auf die Ruinen der Stadt geschleudert, und auch in Fort de France brach die Panik wiederum los. Man hätte meinen können, ein Meer von brennender Materie würde hoch oben in der Luft über dem Orte dahingejagt. Vollends die auch dieses Mal wieder rasch eintretende Finsternis verwirrte den Leuten den Kopf. Die ganze Insel schien zu erzittern und wie von den Meereswogen gewaltsam hin- und her geschaukelt zu werden. Ein jeder glaubte, sein letztes Stündlein sei gekommen. Die See stieg rasch über 15 m des normalen Wasserstandes und überschwemmte die an der Nordseite liegende Stadt Basse-Pointe. Alle Erscheinungen, die am Himmelfahrtstage zur Geltung gekommen waren, wiederholten sich nochmals, und der Jammer und das Elend wurden noch größer. Die gesamte Nord- und



St. Pierre auf Martinique nach der Zerstörung durch den Mont Pelé.
Straßenbild. (Nach Anderson und Flett.)

Nordwestküste Martiniques schien dem endgültigen Untergange geweiht zu sein.

Den Monat Mai hindurch blieb der Vulkan in gesteigerter Tätigkeit, die sich besonders durch Schlammströme auszeichnete, welche nach verschiedenen Himmelsrichtungen hin vom Berge herniedersausten und auch den nördlichen Teil St. Pierres bedeckten, stellenweise in einer Mächtigkeit von 60—90 m. Diese Schlammmasse war im Anfang Juli schon so weit erhärtet, um ein Begehen derselben zu gestatten, befand sich aber im Inneren noch in glühend heißem Zustand, und an verschiedenen Stellen, wo Erdrutsche vorkamen, zeigte sich starke Dampfentwicklung.

Mehr oder minder gewaltige Paroxysmen ereigneten sich dann am 6. Juni, am 9. Juli, am 30. August und bis in den Dezember hinein, dann auch noch im Januar des laufenden Jahres, und auch jetzt, im Sommer 1903, ist der Berg noch nicht zur Ruhe gekommen. Alle diese Phänomene hatten durchaus denselben Charakter, wie der erste Ausbruch am Himmelfahrtstage 1902. Eine große Anzahl Fachleute aller Nationen haben seither an Ort und Stelle Studien und Beobachtungen gemacht, wissenschaftliche Kommissionen sind nach der Martinique abgesandt worden, und schon wächst die Literatur über den Pelé und seine Tätigkeit in großartiger

Weise an. Der französische Mineraloge Lacroix aus Paris, die Engländer Tempest Anderson und John S. Flett, der Amerikaner Heilprin, die Deutschen Sapper und Wegener und noch andere mehr haben den Vulkan bestiegen, sind Zeugen seiner unheimlichen Arbeitsleistungen gewesen, konnten beobachten und photographieren, und trotzdem ist noch keine völlige Klarheit über die Glutwolke geschaffen, welche die Zerstörung St. Pierres herbeigeführt und sich bei jeder größeren Eruption des Vulkans immer wieder gezeigt hat.

Alle Erscheinungen, die der Pelé vorgeführt hat, sind längst bekannt gewesen und bei den verschiedensten Feuerbergen unserer Erde immer wieder vorgekommen. Nur die Glutwolke ist etwas Neues, vielleicht aber nur insofern, als sich derartige Dinge bislang der Feststellung entzogen hatten, wenn sie auch schon sehr oft sich ereignet haben mögen. Ja, einer der vorgenannten Forscher, Angelo Heilprin ist sogar der Ansicht, daß solche Phänomene sich auch bereits in früheren Zeiten gezeigt haben, und daß der berühmte Ausbruch des Vesuv, der am 23. und 24. August des Jahres 79 die Zerstörung der römischen Städte Herkulaneum, Pompeji und Stabiä heraufbeschworen hat, von gleichen Naturereignissen begleitet gewesen ist. Ein besonderes Kapitel in seinem schönen Werke über die

Tragödie auf der Martinique ist der Darstellung seiner Auffassung gewidmet.

Wie eine Katze, welche die Maus beschleicht, ist die Glutwolke hervorgekommen aus den Eingeweiden des Berges und auf St. Pierre niedergebrochen. So hat der Kapitän Freemann vom „Roddam" das Phänomen einmal bezeichnet, und Sapper, der im März dieses Jahres eine Wiederholung der Erscheinung mit erlebt hat, bemerkt, er habe an die Worte des braven Seemanns denken müssen, als er die Wolke so lautlos niederrollen sah. „Waren doch alle Beobachter darüber einig, daß die fatale Glutwolke vom 8. Mai trotz ihrer unvergleichlich viel größeren Wucht und höherer Temperatur, doch in ganz gleicher Weise zu Tal gestiegen war. — Die ganze Erscheinung zeigte ein Bild, wie wenn schwere Gase mit Aschen und sonstigen Auswurfsstoffen beladen hier abwärts flössen; jedoch mochte gerade die Wucht der festen Auswurfsstoffe an der bedeutenden Anfangsgeschwindigkeit schuld sein. Daß die schweren Gase aber auch große Mengen leichterer Gase und Dämpfe mit sich gerissen hatten, zeigte sich bald. Denn als die absteigende Wolke etwa in halber Höhe des Berges mit Erreichen der flacheren Böschung langsamer vorzuschreiten begann, löste sich eine aufsteigende Wolke gleicher Farbe und mit gleicher, wirbelnder, blumenkohlähnlicher Oberfläche von ihr

los und stieg höher und höher, bis sie schließlich die Kraterwolke ganz wesentlich an Höhe übertraf. Da der Nachschub für die absteigende Wolke allmählich an Masse und Schnelligkeit nachließ, so stiegen nun auch von dem rückwärts liegenden Teil der absteigenden Wolke Gase und Dämpfe auf, die allmählich eine Brücke zwischen den beiden Wolkengipfeln herstellten. Die absteigende Wolke rollte inzwischen immer langsamer und langsamer abwärts, indem sie mit ihren Wirbeln alle Unebenheiten des Bodens vollständig ausfüllte. Allmählich wurde ihre Bewegung scheinbar schleichend langsam, die oberflächlichen Wirbel verloren ebenfalls immer mehr ihre Energie, und als die Gesamtwolke endlich nach mehreren Minuten das Meer erreicht hatte, schob sie sich nur noch ganz allmählich in dasselbe hinaus, wobei sie aber schließlich doch eine ganz ansehnliche Entfernung von der Küste erlangte — ich schätze sie auf etwa 3—4 km. Die oberflächlichen Wirbel hatten aufgehört, die ganze Wolke hatte ein gleichförmiges Grau angenommen und begann sich da und dort vom Boden zu erheben, wobei die weißschimmernde Asche, die sich eben abgelagert hatte, sichtbar wurde. —

Leider wissen wir noch immer nicht, aus welchen Gasen die Ausbruchswolken des Mont Pelé bestehen, und es scheint mir, daß es nur dadurch möglich sein

würde, dem Geheimnis auf die Spur zu kommen und etwas Näheres über die Wolke zu erfahren, wenn man besonders konstruierte Registrier-Instrumente und mit Reagenzflüssigkeiten gefüllte Gefäße in der Bahn der absteigenden Ausbruchswolken aufstellte und nach den einzelnen Eruptionen genau prüfte." (Sapper.)

Über die Zusammensetzung der vom Pelé ausgehauchten Gase wissen wir durch die Untersuchungen, die der Chemiker Henri Moissan an solchen, welche Lacroix aufgefangen hatte, anstellte, ziemlich Genaues. Ihre Temperatur betrug mehr als 400°, und die Analyse ergab Wasserdampf, Spuren von Schwefeldampf, eine äußerst geringe Menge von Fluorwasserstoff, Kohlensäure, Sauerstoff, Stickstoff, und dann noch verschiedene brennbare Gase, wie Wasserstoff, Methan und Kohlenoxyd, deren Menge zwischen 10 und 12 % schwankte. Argon war auch nachweisbar. Es muß natürlich dahingestellt bleiben, ob die Glutwolke eine analoge Zusammensetzung hatte. An Vermutungen darüber hat es selbstverständlich nicht gefehlt. Einige haben behauptet, das feurige Ungetüm sei mit allerhand giftigen Gasen beschwert gewesen, die nach Anderen der Hauptsache nach aus Kohlenwasserstoffgasen bestanden haben sollen, vielleicht sogar nur aus Methan. Noch andere Forscher sind der Ansicht, sie sei aus überhitzten Wasserdämpfen,

die überaus stark mit Aschenteilchen beladen waren, gebildet gewesen und hätte ihre Geschwindigkeit der Schwere ihrer eigenen Masse zu verdanken gehabt.

Die Dampfwolken, welche in ruhigen Zeiten aus dem Vulkan hervorströmen, steigen in sehr beträchtliche Lufthöhen hinauf. Heilprin hat diesen Aufstieg auf nicht weniger als 6—7 englische Meilen geschätzt, im Vergleich zu dem gewaltigen Aufstieg der Explosionswolken beim Ausbruch des Krakatao (19 engl. Meilen) immerhin eine geringfügige Höhe trotz ihrer Großartigkeit.

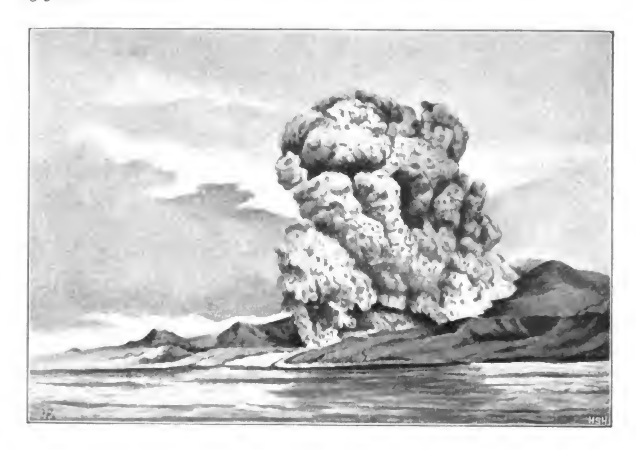
Wie ungemein groß die Menge des vom Pelée geförderten Wasserdampfes gewesen ist, das geht aus den von Heilprin gemachten Betrachtungen hervor, wonach dieser Berg bei Anlaß des Paroxysmus vom 30. August, welchem der Genannte beigewohnt hat, in jeder Zeiteinheit mehr davon in die Luft geblasen hat, als alle Dampfmaschinen der Welt zusammengenommen in dem gleichen Zeitraum. Eine derartige Dampfwolke, die 3—4 Meilen hoch aufsteigt, soll nach den Berechnungen des Professors Israel C. Russell nicht weniger als 4000000000 Kubikfuß Rauminhalt besitzen, und angenommen, daß sie 1 % fester Bestandteile (Aschen und dergl.) enthielte, würde sie 40000000 Kubikfuß solcher Dinge mit sich in die Luft führen. Da diese Wolke ungefähr alle fünf Minuten einen Nach-

schub erhält, so würde demnach der Krater jeweils während dieser Zeit 40000000 Kubikfuß loser Massen ausspeien, oder 480000000 in der Stunde, oder endlich 11520000000 im Tag von 24 Stunden. Dieser Wert entspräche etwa ein und ein halb Mal der Menge von Sedimenten, die der Mississippi innerhalb eines Jahres dem Meere zuträgt! Mit anderen Worten: Wenn diese Voraussetzungen auf Richtigkeit beruhen, dann ist der Auswurf von festen Stoffen seitens des Pelé in jeder beliebigen Zeiteinheit während der Dauer einer mäßigen Eruptionstätigkeit mehr als fünfhundertmal größer, als der Absatz des Mississippi, und darum sehr viel bedeutender als derjenige aller Flüsse dieser Erde zusammen! Die auf solche Weise täglich vom Pelé herausgeschleuderte Materie würde genügen, um eine Landfläche vom Umfang der Insel Martinique um etwa einen Fuß zu erhöhen.

Auch gewaltige elektrische Entladungen haben die verschiedenen Eruptionen des Pelé mit sich gebracht, so am 30. August ein wahres Feuerwerk von Blitzen und Funken, das die aus dem Krater hervorschießenden Wolken nach allen Richtungen hin durchzuckte. Der Donner und das Getöse des Berges wurde sogar in weiten Entfernungen noch deutlich vernommen, so auf den Inseln St. Kitts und St. Thomas (270—300 Meilen), und der Konsul der Vereinigten Staaten

in Maracaibo hat berichtet, daß am Morgen des Himmelfahrtstages schreckliche Detonationen dort hörbar waren, 800 Meilen von St. Pierre entfernt! Es klang, so erzählt der Ebenerwähnte, nicht etwa wie das Schießen aus schweren Geschützen, und wenn alle Kanonen Venezuelas auf einmal abgefeuert würden, könnten sie einen solchen Lärm nicht machen. „Es war kein Feuern aus großen Belagerungsgeschützen, es war kein Gewitterdonnern, noch das unheimliche unterirdische Geräusch, wie es bei Erdbeben vorkommt, nein, es war, wie wenn gewaltige Explosionen hoch oben in den Wolken stattfänden!“ Ähnliche Dinge hat schon Humboldt bekannt gemacht. Als am 30. April 1812 die Soufrière von St. Vincent in einen Paroxysmus geriet, vernahm man ein erschreckendes unterirdisches Getöse, das wie Kanonendonner erklang, bei Calabozo und am Rio Apure, an einer 192 geographische Meilen weit von dessen Einmündung in den Orinoco belegenen Stelle, also in etwa 800 Meilen direkter Entfernung von St. Vincent! Der Lärm, den der Krakatau im Jahre 1883 gemacht hat, soll auf einem Flächenraum wahrgenommen worden sein, der etwa dem fünfzehnten Teil der Erdoberfläche entspricht, und in einer Entfernung von mehr als 3000 km, also an Orten, die so weit vom Berge abliegen, wie Ägypten, Jerusalem, Spitzbergen und Grönland von

Figur 1.



Figur 2.

Der Ausbruch des Mont Pelé auf Martinique, am 16. Dezember 1902.

Figur 1. Anfang der Eruption, 8 Uhr 26 Minuten.
Figur 2. Die Glutwolke um 8 Uhr 29 Minuten. (Nach Lacroix.)

Paris. Ja, noch mehr, es ist sogar behauptet worden, daß man das Getöse auf den südlich von Kuba belegenen Caiman-Inseln gehört habe, den Antipoden des Krakatau, und daß sich die Schallwellen durch die Masse des Planeten hindurch fortgepflanzt hätten!

Wie der Ausbruch des Krakatau, so hatten auch diejenigen des Pelé und der Soufrière Dämmerungserscheinungen in ihrem Gefolge, die auf dem weiten Erdenrund beobachtet worden sind.

Sehr schwer ist es, sagt Heilprin, einen Vergleich zwischen der Intensität der Explosion des Pelé am 8. Mai 1902 und derjenigen bei anderen uns gut bekannten großen Ausbrüchen anderer Vulkane zu ziehen, es sei denn in höchst ungenauer Weise. Wenn die Gewaltäußerungen lediglich gemessen werden sollen nach der mechanischen Arbeit des Vulkans (Wegblasen und Zusammenstürzen ganzer Berge), nach der Menge der ausgeschleuderten Massen, nach der Höhe, bis zu welcher diese letzteren hinaufgewirbelt werden, und nach den Erschütterungen, welche die Explosionen hervorbrachten, dann steht der Ausbruch des Pelé den Eruptionen des Papandayang (1772), Asamayama (1783), Skaptar Jökull (1783), Tomboro (1815), Coseguina (1835), Krakatau (1883), Tarawera (1886), Bandai-San (1888) und wahrscheinlich auch noch vielen Paroxysmen des Vesuv, des Ätna und des Mauna Loa

wesentlich nach. Wie unbedeutend erscheint die Menge des vom Pelé ausgeworfenen Materials gegenüber demjenigen, das der Bandai-San abgegeben hat. Letzteres betrug nach offiziellen Schätzungen 1 Billion 587 Millionen Kubikyards (1 Yard = 91,439 cm), also 1,20 cbkm, die 27 Quadratmeilen bedeckten. Und diese ungeheure Masse war doch nur der fünfzehnte Teil der beim Krakatau-Ausbruch in die Luft getriebenen festen Substanzen (4,3 englische Kubikmeilen), und ein Hundertstel nur von dem, was der Tomboro 1815 in die Atmosphäre hinaufblies (28,6 englische Kubikmeilen). Dazu kam beim Bandai-San noch der gewaltige Tornado, der sich mit einer Geschwindigkeit von 90 Meilen in der Stunde fortpflanzte.

Aber wenn man die Sache von einem anderen Standpunkte aus betrachtet, wenn man bedenkt, daß dem Ausbruch des Bandai-San nur 166 Häuser und 461 Menschenleben zum Opfer gefallen sind, und diese Zahlen vergleicht mit der beispiellosen Zerstörungswut des Pelé, der eine ganze massiv gebaute Stadt von großer Ausdehnung zu Staub zerrieben und viele tausend menschliche Wesen vernichtet hat, dann steht die Kraftäußerung, die der Vulkan auf Martinique betätigt hat, und deren Wucht auch nicht annähernd geschätzt werden kann, weit obenan unter allen diesen ungeheuerlichen Ereignissen. Und

wenn der Krakatau-Paroxysmus von 1883 mit Beziehung auf die Plötzlichkeit der explosiven Vorgänge und auf die dadurch verursachten großartigen Störungen auf der See und in der Atmosphäre allen anderen vulkanischen Ereignissen, von denen die Geschichte weiß, den Rang sicherlich abläuft, so kann man auch vom Mont Pelé sagen, daß die Intensität und die Geschwindigkeit seiner todbringenden Glutwolke, die gewaltigen magnetischen Störungen, die seine Eruption erzeugte, und die dabei außergewöhnlich stark entwickelten elektrischen Erscheinungen am 8. Mai und später ihresgleichen in der neueren Erdgeschichte suchen dürften.

Soviel vom Pelé! Wir wenden uns jetzt zu den Ereignissen auf St. Vincent. Dort erhebt sich im Norden der Insel der 1130 m hohe Feuerberg der Soufrière, ein Vulkan von echt klassischer Gestalt. „Um den einfachen, kegelförmigen Kraterberg, der in seinem 800 m weiten und 150 m tiefen Trichter einen See hat, legt sich im Norden ein kolossaler Schlackenwall, die Ruine eines riesigen älteren Kraters, halbkreisförmig herum. Er ist ein getreues Ebenbild des Vesuv mit seinem Sommawall. Im Norden der Umwallung befindet sich ein kleinerer Krater, der als „neuer Krater“ vom Hauptkrater oder „älteren Krater“ unterschieden wird. Dieser neue Krater soll 1812 ent-

standen sein und die damaligen Ausbruchsmaterialien geliefert haben. Seit jener Zeit hat er sich fortwährend ruhig verhalten. Die Soufrière war bis zum Kraterrand hinauf mit großen Bäumen bewachsen und trug auf ihren Gehängen einen üppigen Pflanzenwuchs, grüne Zuckerrohrfelder und Baumwollenkulturen.“ (Dressel).

Von dem Zusammenhang des Erdbebens von Venezuela im März 1812 und dem damaligen Ausbruch des Vulkans, wie auch von ähnlichen mutmaßlichen Verbindungen zwischen beiden Erscheinungen in der Gegenwart (Erdbeben von Caracas im Oktober 1901 und Soufrière-Ausbruch von 1902) ist bereits schon früher die Rede gewesen. Vielleicht, daß darum die zuletzt erwähnten seismischen Vorgänge in Venezuela die Bewohner des Eilandes hätte warnen sollen. „Wer jedoch auf St. Vincent,“ sagt Pater Dressel, „hatte eine Kenntnis von diesen so weit zurückliegenden Begebenheiten?“

Der Paroxysmus der Soufrière wurde am Morgen des 7. Mai durch Dampfexplosionen und am Rande des Kraters auf- und niedertanzende Flammen eingeleitet. Schrecken und Panik verbreiteten sich unter einem großen Teil der Bevölkerung. Der Vulkan tobte und brüllte, 8—10000 m hohe Dampfsäulen schossen aus seinem Schlund hervor, Aschen und

glühende Steine hagelten auf die Flanken des Berges, besonders auf dessen Ostseite, nieder, heiße Schlammströme folgten, welche in den Talungen des Wallibu und des Dry River zum Meere hinabjagten, wohl aus dem Kratersee kommend. Diese schlimmen Erscheinungen steigerten sich im Laufe des Vormittags, und gegen 2 Uhr am Nachmittag stürzte eine blitzende und stark nach schwefeliger Säure riechende Glutwolke, genau wie diejenige des Pelé, mit rasender Geschwindigkeit den Berg hinab. Wir würden etwa das Gleiche wiederholen müssen, was wir bereits beim Ausbruch des Martinique-Vulkans kennen gelernt haben, wenn wir den Vorgang in seinen Einzelheiten schildern wollten. Auch diese Wolke vernichtete im Moment alles Lebendige, das mit ihrem giftigen Qualm in Berührung kam, da aber die meisten Menschen schon geflohen waren, so wirkte sie auf St. Vincent nicht in dem Maße todbringend, wie bei St. Pierre. Weitere Aschenregen und wolkenbruchartige Phänomene folgten, heiße schlammige Fluten wurden von den Flüssen des Berges in die Täler hinabgewälzt, schwarze Dunkelheit bedeckte die Erde. Eine ungeheure Zerstörung brach über den Norden der Insel herein. Die Häuser wurden zu brennenden Trümmerhaufen, ganze Waldungen und Plantagen lagen versengt zu Boden, meterhoher Schlamm und heiße Asche bedeckten Fluren und

Felder. Dabei brüllte der Berg ohne Unterlaß, „gleich einem Riesentier, das große Schmerzen leidet.“

Nur wenige Minuten hat das Vorbeisausen der Glutwolke gedauert, aber trotzdem hat sie 2000 Menschen das Lebenslicht ausgeblasen. Auch hier, wie beim Pelé, glich sie in ihrem Verhalten beim Niedergehen einer Flüssigkeit und hinterließ kolossale Mengen Aschen und Sand auf dem von ihr berührten Gelände. Den ganzen Tag über hielt die Dunkelheit an, und erst mit dem Anbruch des folgenden Morgens legte sich allmählich die Wut des Vulkans. Am 18. Mai brach er von neuem aus, doch erreichte dieser Paroxysmus die Stärke des ersten nicht mehr.

Wenn man die Vorgänge am Pelé und an der Soufrière miteinander vergleicht, so wird man von der Übereinstimmung in den Ausbruchserscheinungen beider Vulkane rasch überzeugt. Heiße Wassergüsse, dann Aschen- und Steinregen, beide die verheerenden Schlammströme erzeugend, die verhängnisvollen Glutwolken, starke elektrische Phänomene, große magnetische Störungen und der Mangel eines jeglichen Lavaflusses, das sind die für die vulkanische Tätigkeit auf den Kleinen Antillen im Jahre 1902 bezeichnenden Eigentümlichkeiten. An der Soufrière hat sich das Ganze rascher, dafür aber auch um so intensiver abgespielt, als auf der französischen Insel. Das verwüstete Ge-

biet ist hier ein viel umfangreicheres, und die ausgeworfenen Massen sind viel bedeutendere, sogar die Hitze und Gewalt der Glutlawine scheint stärker gewesen zu sein, wenn auch der Verlust an Menschenleben ein sehr viel geringerer gewesen ist, als auf der Martinique. St. Vincent hatte übrigens nur 42500 Bewohner, davon etwa 2500 Weiße, und auf Martinique lebten vor der Katastrophe 187000 Seelen.

Die Soufrière hat auch mehr Schlackenbomben und Steinblöcke ausgeschleudert, und zwar solche von bedeutender Größe. „Man fand Steinbomben von $1^1/_2$ m Durchmesser, noch in 4 englischen Meilen Entfernung vom Krater fielen Schlackenbomben von 1 m Durchmesser. Bis nach Kingstown, also 12 Meilen weit, flogen Steine von der Größe eines Hühnereies. Die Menge der ausgeworfenen Aschen und Sande ist geradezu erstaunlich. Sogar auf der Insel Barbados, die 250 km ostwärts von St. Vincent liegt, lag morgens am 8. Mai so viel Asche, daß man dieselbe auf zwei Millionen Tonnen berechnete.“ (Dressel).

Die Gesteine, welche die beiden Vulkane zu Tage förderten, gehören der Gruppe der andesitischen Felsarten an.

Bereits in einem der vorhergehenden Abschnitte haben wir die gegenwärtige Beschaffenheit des Pelé und seines Kraterschlundes auf Grund der in jüngster

Zeit von K. Sapper gegebenen Darstellungen erläutert, und erinnern hier nochmals an den höchst sonderbaren „Cône“, die felsige und glühende Nadel, welche aus dem Scheitel des Berges herauswächst, „eines der merkwürdigsten Gebilde, die bisher in der Geschichte unserer Erde beobachtet worden sind.“

In den vorstehenden Abschnitten ist versucht worden, ein möglichst getreues Bild von der Entwicklung zu geben, welche unsere Anschauungen über die Feuerberge in den vergangenen Jahren genommen haben. Wir haben die wichtigsten und die neuesten Theorien vorgeführt, soweit solche einen Anspruch auf Wissenschaftlichkeit machen dürfen, wollen aber auch nicht verhehlen, daß es noch andere gibt, denen wir diese Bezeichnung nicht zugestehen können, solche, welche die Einwirkung kosmischer Kräfte, die Anziehung von Sonne und Mond auf die Erde und noch weitere Dinge mehr zur Erklärung der vulkanischen Erscheinungen heranziehen wollen. Aber dergleichen Ansichten sind keine wissenschaftlichen Lehren mehr, sondern Hirngespinste. Und mit solchen mögen wir nichts zu schaffen haben!

Freilich, wir sagten's ja eben, unsere Vorstellungen über das Wesen der vulkanischen Phänomene sind

größtenteils Theorien, Rastvorstellungen, subjektive, aber keine objektive Wahrheit. Noch sehr wenig Sandkörnchen liegen vorderhand am Strande, um hier ein schon früher angezogenes Gleichnis nochmals zu erwähnen, und welche Gestalt die Sandbank, die daraus entstehen soll, einmal erhalten wird, wir wissen es nicht. Aber sie wird einmal vorhanden sein, das hoffen wir bestimmt, einerlei, ob in tausend oder erst in abertausend Jahren! Was wir nicht klarstellen und ermitteln können, bleibt kommenden Geschlechtern überbunden.

Noch manch ein Rätsel ungelöst
Ragt in die Welt von heute,
Und ist dein sterblich Teil verwest,
So kommen andere Leute.

In der öden Wüste theoretischer Spekulationen winkt zuweilen am fernsten Horizont in rosigem Schimmer der Berg der Wahrheit. Wir glauben ihm näher zu kommen, schon erblicken wir seine grünen Weiden und seine schattigen Gehänge, wir erschauen die Pfade, die zu seinem zinnengekrönten Gipfel hinanführen, wir meinen schon, ihn fassen zu können, — da entschwindet er plötzlich unseren Augen, er zerfließt in Dunst und Nebel. Eine Fata Morgana war's, die uns getäuscht hat. Eine Luftspiegelung des Berges,

der noch weit, unermeßlich weit vor uns liegt, dessen Bild uns jedoch ein freundliches Geschick an besonders feierlichen Tagen hervorzaubert, um unser Forschen mit frischem Mut zu erfüllen, um uns zu zeigen, daß er wirklich vorhanden ist und nicht nur in unserer Phantasie lebt, wenn es uns auch nicht vergönnt sein soll, auf seiner Warte zu stehen.

Und diejenigen, die nach uns kommen, werden die einmal den Scheitel des Berges der Erkenntnis betreten dürfen? Wird ihnen das unendliche Glück beschieden sein, sich in seinen reinen und luftigen Höhen sonnen zu können, und frohlockend hinabzuschauen auf das überwundene Nebelmeer des Irrtums, das ihnen da zu Füßen wogt auf der uferlosen Sahara wissenschaftlicher Hypothesen? Oder werden auch sie sich bequemen müssen zu dem harten Geständnis, daß die ganze und volle objektive Wahrheit auch hierin dem Menschen für alle Zeiten vorenthalten bleiben soll?

Mag sein, daß, wenn es in vielen tausend Jahren noch Geologen geben wird, diese über die Errungenschaften, auf die wir stolz sein zu dürfen meinen, mitleidsvoll lächeln werden, im Vollgefühl des unendlich erhabeneren Standpunkts, den sie dann einnehmen. Aber, mag derselbe noch so hoch über dem unsrigen stehen, mag ihr Blick ein unvergleichlich freierer geworden sein, auch für die Menschheit der allerfernsten

Zukunft werden und müssen die Worte Geltung haben, die vor bald zweitausend Jahren der Mann aus Tarsos an die Korinther geschrieben hat:

„Denn unser Wissen ist Stückwerk!“

Kiel, 26. Juli 1903.

Wichtige Bücher und Abhandlungen über die Vulkane, auf die in diesem Buche Bezug genommen und die demselben zu Grunde gelegt worden sind.

Anderson, Tempest, Volcanic Studies in many Lands. London, 1903.

Anderson, Tempest, and Flett, John L. Report on the Eruptions of the Soufrière in St. Vincent, etc. Part. I. (Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, vol. 200. London, 1903.)

Andreae, A. Über die Nachahmung verschiedener Geysirtypen und über Gasgeysire. (Verhandlungen des naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg, N. F., V. Bd. 1. Heft. Heidelberg, 1893.)

Andreae, A. Über die künstliche Nachahmung des Geysirphänomens, u. s. f. (Neues Jahrbuch für Mineralogie, u. s. f., 1893, 2. Bd. Stuttgart, 1893.)

Arrhenius, S. Zur Physik des Vulkanismus. (Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, Jahrgang 1900. Stockholm, 1900.)

Bergeat, A. Die äolischen Inseln. (Abhandlungen der k. bayr. Akademie der Wiss. II. Kl. 20. Bd. 1. Abtlg. München, 1899.)

Bergeat, A. A. Stübels Untersuchungen über die Eruptionszentren in Südamerika. (Zentralblatt für Mineralogie, u. s. f., 1902, Nr. 23. Stuttgart, 1902.)

Boese, Emilio. Sobre la Independencia de los Volcanes de Grietas preexistentes. (Memorias de la Sociedad „Alzate“ de Mexico, tomo 14. Mexico, 1899.)

Branco, W. Schwabens 125 Vulkan-Embryonen und deren tufferfüllte Ausbruchsröhren; das größte Maargebiet der Erde. (Jahreshefte für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 50. Jahrg., Stuttgart, 1894, und 51. Jahrg. Stuttgart, 1895.)

Branco, W. Neue Beweise über die Unabhängigkeit der Vulkane von präexistierenden Spalten. (Neues Jahrbuch für Mineralogie, u. s. f., Jahrg. 1898, 1. Bd. Stuttgart, 1898.)

Branco, W. von. Wirkungen und Ursachen der Erdbeben. (Berliner Rektoratsrede am 27. Januar 1902.)

Buch, L. von. Physikalische Beschreibungen der Kanarischen Inseln. Mit Atlas. Berlin, 1825.

Chaper, M. Observations à propos d'une note de M. Daubrée. (Bulletin de la Société Géologique de France, 3ème série, tome 19, 1890—91. Paris, 1891.)

Cross, Whitman. The Laccolitic Mountain Groups of Colorado, Utah and Arizona. (United States Geological Survey, 14th Annual Report, Part. II. Washington, 1894.)

Dana, James D. Characteristics of Volcanoes, with contributions of facts and principles from the Hawaiian Islands. London, 1890.

Daubrée, M. Recherches expérimentales sur le rôle possible des gaz à hautes températures, doués de très-fortes pressions et animés d'un mouvement fort rapide, dans divers phénomènes géologiques. (Bulletin de la Société Géologique de France, 3ème série, tome 19, 1890—91. Paris, 1891.)

Deckert, E. Die westindische Vulkankatastrophe und ihre Schauplätze. (Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1902, Nr. 5.)

Deckert, E. Die Erdbebenherde und Schüttergebiete von Nordamerika in ihren Beziehungen zu den morphologischen Verhältnissen. (Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1902, Nr. 5.)

Doelter, C. Die Dichte des flüssigen und des festen Magmas. (Neues Jahrbuch für Mineralogie, u. s. f. 1901, 2. Bd. Stuttgart, 1901.)

Dressel, L. (S. J.) Die Vulkanausbrüche auf den Antillen. (Frankfurter zeitgemäße Broschüren, Bd. 22, Heft 6. Hamm i. W., 1903.)

Felix, J., und Lenk, H. Zur Frage der Abhängigkeit der Vulkane von Dislokationen. (Zentralblatt für Mineralogie, u. s. f. Stuttgart, 1902, S. 449—460.)

Felix, J., und Lenk, H. Bemerkungen zur Topographie und Geologie von Mexiko. (Zeitschrift der Deutschen geolog. Gesellschaft, Bd. 54, Jahrg. 1892. Berlin, 1892.)

Flammarion, C. Les éruptions volcaniques et les tremblements de terre. Paris, 1902.

Fouqué, M. Santorin et ses éruptions. Paris, 1879.

Fuchs, C. W. C. Die vulkanischen Erscheinungen der Erde. Leipzig und Heidelberg, 1865.

Geikie, Archibald. The Ancient Volcanoes of Great Britain. 2 vols. London, 1897.

Gilbert, G. K. A Monograph of the U. S. Geogr. and Geol. Survey of the Rocky Mountain Region. Washington, 1877.

Günther, S. Handbuch der Geophysik, 1. Bd. Stuttgart, 1897.

Heilprin, A. Mont Pelé and the Tragedy of Martinique. Philadelphia and London, 1903.

Helland, M. Lakis Kratere. Kristiania, 1886.

Iddings, J. P. Obsidian Cliff Yellowstone National Pack. (United Staates Geological Survey, 7th Annual Report. Washington, 1888.

Johnston-Lavis, H. J. The South Italian Volcanoes. Naples, 1891.

Judd, John W. Volcanoes, what they are and what they teach. 4th edition. London, 1888.

Lapparent, A. de. Traité de Géologie. 4ème édition, 3 vols. Paris, 1900.

Laspeyres, H. Das Siebengebirge am Rhein. (Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der preuß. Rheinlande, Westfalens, u. s. f. 57. Jahrgang, 1900. Bonn, 1901.)

Löwl, F. Spalten und Vulkane. (Jahrbuch des k. k. geol. Reichs-Anstalt in Wien, 36. Band. Wien, 1886.)

Lorenzo, G. de. Considerazioni sull' origine superficiali dei Vulcani. (Atti d. R. Academia d. Sc. Fis. e mat. di Napoli, 11, No. 7. Napoli, 1901.)

Lyell, Ch. Principles of Geology. 2 vols. 10th edition. London, 1867.

Merriam, C. Hart. Bogoslof Volcanoes. (Annual Report of the Board of Regents of the Smithonian Institution, for the year ending June 1901. Washington, 1902.)

Peacock, R. A. Saturated Steam, the Motive Power in Volcanoes and Earthquakes. London, 1882.

Penck, A. Morphologie der Erdoberfläche, 2 Bde. Stuttgart, 1894.

Ratzel, F. Die Erde und das Leben. 1. Band. Leipzig, 1901.

Ratzel, F. Die Kant-Laplacesche Hypothese und die Geographie. (Petermanns Mitteilungen, 47. Bd., 1901. Gotha, 1901.)

Ratzel, F. Die Zeitforderung in den Entwickelungswissenschaften. (Annalen der Naturphilosophie, 1. Bd. Leipzig, 1902.)

Reyer, E. Theoretische Geologie. Stuttgart, 1888.

Rudolph, E. Über submarine Erdbeben und Eruptionen. (Gerland, Beiträge zur Geophysik, Bd. 1. Stuttgart, 1887.)

Sabatini, V. I Vulcani dell' Italia centrale e i loro prodotti. (Mem. descr. Carta geol. d'Italia. Roma, 1900.)

Sabatini, V. Osservazioni sulla profondità dei focolari vulcanici. (Bolletino Comitato Geologico d'Italia, 1902, 33. Roma, 1902.)

Sapper, K. Die geographische Bedeutung der mittelamerikanischen Vulkane. (Zeitschr. der Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 1902, Nr. 6.)

Sapper, K. Die vulkanischen Ereignisse in Mittel-Amerika und auf den Antillen. (Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1903, Nr. 5.)

Sapper, K. Ein Besuch von Martinique. (Centralblatt für Mineralogie, u. s. f. 1903, Nr. 11. Stuttgart, 1903.)

Scrope, Poulett, G. The Geology and Extinct Volcanoes of Central France. London, 1858.

Scrope, Poulett, G. Über Vulkane. Zweite verbesserte und vermehrte Auflage. Übersetzt von G. A. von Klöden. Berlin, 1872.

Schmidt, J. F. J. Studien über Vulkane und Erdbeben. Leipzig, 1881.

Seebach, K. von. Über Vulkane Zentralamerikas. (Abhandlungen der kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Bd. 38. Göttingen, 1892.)

Sueß, E. Das Antlitz der Erde. Bd. 1. Leipzig, 1885.

Sueß, E. Über heiße Quellen. (Verhandlungen der Gesellsch. Deutscher Naturforscher und Ärzte 1902, Allgemeiner Teil. Leipzig, 1902.)

Stoppani, A. Che cosa è un Vulcano? Milano, 1902.

Stübel, A. Die Vulkanberge von Ecuador. Berlin, 1897.

Stübel, A. Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kräfte in der Gegenwart. Leipzig, 1901.

Stübel, A. Über die Verbreitung der hauptsächlichsten Eruptionszentren und der sie kennzeichnenden Vulkanberge in Südamerika. (Petermanns Geogr. Mitteilungen 1902, Heft 1.)

Stübel, A. Über die genetische Verschiedenheit vulkanischer Berge. Leipzig, 1903.

Supan, A. Grundzüge der physischen Erdkunde. 3. Auflage. Leipzig, 1903.

Thoroddsen. Oversigt over de Islandska Vulkaner historie. (Übersetzung in: Annual Report of the Smithonian Institution. Washington, 1885.)

Thoulet, J. Les Volcaus sous-marins. (Revue des Deux Mondes, 73. annèe, 5ème période, t. 13, Livr. 3, 1. fèvrier 1903.)

Tschermak, G. Über den Vulkanismus als kosmische Erscheinung. (Sitzungsberichte der k. k. Akademie der Wissenschaften in Wien, 75. Bd., 1. Abt., März-Heft 1877. Wien 1877.)

Toula, Franz. Verschiedene Ansichten über das Innere der Erde. (Allgemeine bergmännische Zeitschrift 1899, Nr. 1. Wien, 1899.)

Vélain, Ch. Les volcans, ce qu'ils sont et ce qu'ils nous apprennent. Paris, 1884.

Vogelsang, H. Die Vulkane der Eifel, in ihrer Bildungsweise erläutert. (Natuurkundige Verhandelingen van de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen te Haarlem. 21. Decb., 1. Stuck. Haarlem, 1864.)

Wegener, G. Einige neue Aufnahmen vom Mont Pelé. (Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1903, Nr. 6. Berlin, 1903.)

Wolf, Teodoro. Geografia y Geologia del Ecuador. Leipzig, 1892.

Ferner noch eine Reihe von Schriften von Deecke, Lorenzo, Matteucci, Mercalli, Roth und Anderen.





